

Planeten und Sterne

*Ein neues Bild
der Entstehung
und des Sternaufbaus*

zudem ein Atommodell

Volkhard Radtke

Zum Verfasser

Der Verfasser dieser neuen Idee zur Planetenentstehung heißt Volkhard Radtke. Er ist am 16. Juli 1956 in Bochum geboren. Er schloss eine Ausbildung als Physiklaborant in seiner Heimatstadt ab. Zudem hat er zwei Studien in Süddeutschland an Fachhochschulen abgebrochen. Er studierte Physikalische Technik und Sozialpädagogik. Seine Arbeit konzentriert sich auf den sozialen, künstlerischen und gestalterischen Bereich. Seine Kunstwerke wurden im In- und Ausland in Galerien und Museen ausgestellt. Ein wesentlicher Bestandteil seines Lebens ist das Führen eines umfangreichen Tagebuches. Die intensive Beschäftigung mit der Astronomie beginnt im Jahre 1999. Seitdem konzentriert er sich in seiner ganzen Arbeit auf die Theorie zur Planetenentstehung.

Verlag

Der *Radtke Verlag* ist ein Selbstverlag, der nur für dieses Buch „*Planeten und Sterne ein neues Bild der Entstehung und des Sternaufbau*“ gegründet wurde. Das Buch ist in seiner ersten Ausgabe im September 2005 erschienen und steht auch im Internet unter: www.nowa-space.de. Das Buch kann man dort komplett herunter laden. So kommt jeder an diese Information. - ISBN 3000170138 von der ersten Auflage.

Dieses Buch ist dafür geschrieben worden, um mein Denken und diese neue Idee zur Planetenentstehung und Sternentwicklung öffentlich zu machen. Es geht auch darum, dem momentanen Denken in der Astronomie etwas entgegenzustellen. Es ist richtet sich an die Fachwelt der Astronomie.

Mit der zweiten Auflage dieses Buches ist ein weiteres Buch des Verfassers erschienen. Es hat den Titel *Tagebuch eines Sonderlings - Die Wanderschaft im Jahre 1988 und 1989*. - ISBN-13: 978-3-00-020304-6



Foto Mitte der 90iger Jahre

Die Planetenentstehung und ihre Auswirkungen auf die Sternentwicklung

Diese Abhandlung entstand bis zum September 2007, wird aber laufend ergänzt. Sie ist von Volkhard Radtke entwickelt und geschrieben worden.

Das Thema

Diese Abhandlung ist eine gekürzte Zusammenfassung aus mehr als 8 Jahren Arbeit. Sie ist der Versuch, die Planetenentstehung und die Sternentwicklung bis in frühe Generationen der Sterne zu erklären. Sie erläutert das Prinzip der Entstehung aller Körper um einen Stern, beginnend bei den Chondren in undifferenzierten Meteoriten bis hin zum Stern. Dazu gehört auch die Erklärung der Positionen und inneren Struktur dieser Körper.

Darüber hinaus wird dargestellt, welche Einflüsse die Entstehung von Körpern um einen Stern auf die Entwicklung des Sterns selbst hat. Daraus wird auf das Verhalten der Sterne allgemein und die Häufigkeitsverteilung früherer Sterngenerationen geschlossen. Auch die Doppel- und Mehrfachsternentstehung wird neu definiert.

Inhaltsverzeichnis

Verlag.....	3
Vorwort zur ersten Auflage.....	13
Vorwort zu zweiten Auflage	14
1. Position der Physik in der Planetenforschung und Sternentstehung.....	15
1.1. Vergleich der Denkansätze.....	15
1.2. Lösungsversuche in der Astronomie	16
1.3. Definitionen und Klassifizierungen	17
1.4. Entstehungsart und Entstehungsort der Kleinsysteme	18
1.5. Themenspektrum der Arbeit.....	18
2. Planetenentstehung.....	20
2.1. Probleme der Planetenentstehung	20
2.1.1. Das Temperaturproblem von Meteoriten und großen Körpern.....	20
2.1.2. Das Rotationsproblem der Körper um einen Stern	22
2.1.3. Die Drehung der Mondsysteme.....	23
2.1.4. Das Drehimpulsproblem eines Sterns	23
2.1.5. Die Position der Exoplaneten.....	24
2.1.6. Die Entwicklungsgeschwindigkeit.....	24
2.2. Das Prinzip der Körperbildung in Sternnähe	25
2.2.1. Positionen der Körper um einen Stern	25
2.2.2. Die Bedeutung der Planetenpositionen	25
2.2.3. Sternveränderung und Planetenentstehung	26
2.2.4. Entstehungsbereich und Sterntemperaturen	28
2.3. Große Körper im Sonnensystem	32
2.3.1. Die Erklärung großer Strukturen im Sonnensystem	32
2.3.2. Grenzgröße einzelner Klassen von Festkörpern.....	33
2.3.3. Planeten vor der Gasaufnahme.....	36
2.3.4. Entwicklung vom Planeten zum Gasplaneten.....	37
2.3.5. Prinzip der Gasaufnahme eines Planeten	39
2.4. Die Akkretionsscheibe bei der Planetenentstehung	40
2.4.1. Die Sternrotation und die Akkretionsscheibe.....	40
2.4.2. Die Abplattung der Akkretionsscheibe	43
2.4.3. Das Ende der Akkretionsscheibe.....	45
2.4.4. Definition und Funktion der Gasscheibe.....	46

2.5. Trennungsverfahren in der Gasscheibe	47
2.5.1. Entwicklungsstufen	47
2.5.2. Das Prinzip der Körperbildung	48
2.5.3. Klassen der Körperbildung.....	50
2.5.4. Trennung der Substanzen, Inklination und Rotation.....	50
2.5.5. Grenzwerte der Tropfenbildung bei Eisen und Nickel.....	51
2.5.6. Die Entwicklung der Tropfen bis zu Bahngeschwindigkeit.....	53
2.5.7. Streuung der Tropfen beim Aufstieg.....	54
2.5.8. Trennung von Eisen und Gestein durch die Gasströmung.....	54
2.5.9. Wellenbewegung von dem Durchbruch der Gasscheibe.....	54
2.5.10. Wechselwirkung zwischen Chaos und Ordnung.....	55
2.5.11. Rotation und Körperklassen	55
2.6. Zur Entwicklung der Meteoriten	57
2.6.1. Die Meteoriten und das Ende des Entstehungsbereiches	57
2.6.2. Undifferenzierte Meteoriten	57
2.6.3. „Die Fremdlinge“	58
2.6.4. Isotope der kohligen Chondrite	59
2.6.5. Eisenanteil der Steinmeteoriten.....	59
2.6.6. Eisen-Stein-Meteoriten.....	60
2.6.7. Entwicklungsgeschwindigkeit von Eisennickel	60
2.6.8. Nickelanteil im Eisenmeteoriten	61
2.6.9. Mischungsverhältnis von Eisen und Nickel	61
2.7. Sonnenflecken und Meteoritenentwicklung.....	62
2.7.1. Meteoriten und die Sternoberfläche	62
2.7.2. Ursachen der Sonnenflecken.....	62
2.7.3. Rhythmen der Sonnenflecken	63
2.7.4. Bewegung der Sonnenflecken.....	63
2.7.5. Ursachen des Sonnenfleckenzyklus	63
2.7.6. Körperentwicklung bei unterschiedlicher Metallizität	64
2.7.7. Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Sonne.....	65
2.7.8. Eisenvorkommen bei Sternen mit nahen Exoplaneten.....	65
2.8. Körper einer Klasse.....	67
2.8.1. Körpergrößen in ihren Klassen	67
2.8.2. Größe der Körper beim Durchdringen der Akkretionsscheibe	67
2.8.3. Abdrift und Periheldrehung.....	68
2.8.4. Rotationseinbruch der Asteroiden.....	69

2.8.5. Einfang und Massengewinn	70
2.8.6. Die Plutinos und der Kuiper-Gürtels.....	71
2.8.7. Inklination der Plutinos	72
2.8.8. Kuiper-Gürtel	73
2.8.9. Körper außerhalb des Kuiper-Gürtels	74
2.8.10. Kometen	74
2.9. Große Monde und Planeten.....	78
2.9.1. Die Klassifikation von Monden und Planeten.....	78
2.9.2. Mond oder Planet?	78
2.9.3. Einfang der Monde und Masse des Planeten	79
2.9.4. Jupiters und Saturns Massen beim Einfang ihrer Monde.....	80
2.9.5. Die T-Taurikrise und die Entwicklung des Jupitersystems.....	81
2.9.6. Das Zusammentreffen von Planeten untereinander	81
2.9.7. Die abnehmende Dichte von Pluto bis Japetus	82
2.9.8. Magnetfelder und Rotation der Monde	83
2.9.9. Einschlagskrater der Monde.....	83
2.9.10. Größe der Mondpaare untereinander.....	85
2.9.11. Wassermengen bei den inneren Planeten und beim Mond	85
2.9.12. Ein Salzmeer in Callisto.....	86
2.9.13. Der Anteil von Lanthan gegenüber Kalium	87
2.9.14. Die Gasaufnahme des Planeten	89
2.10. Rotation, Magnetismus und Drehung der Mondsysteme	90
2.10.1. Fragen zum Thema.....	90
2.10.2. Kräfte beim Durchdringen der Gasscheibe	90
2.10.3. Rotationsneigung und ehemalige Inklination der Planeten.....	92
2.10.4. Drehung der Mondsysteme	94
2.10.5. Magnetachsen und Inklination	95
2.10.6. Japetus und der Erdmond	96
2.10.7. Verschiebung der Magnetachsen der Gasplaneten.....	96
2.10.8. Die Stärke des Magnetismus und die Rotation	96
2.10.9. Drehimpuls der Gasscheibe und des Sterns	97
2.11. Das Ring- und Kleinmondsystem der Gasplaneten.....	98
2.11.1. Die Kleinkörper bei den Gasplaneten	98
2.11.2. Ring- und inneres Kleinmondsystem der Gasplaneten	98
2.11.3. Körpergrößen und Abstände im inneren Kleinmondsystem	99
2.11.4. Äußere Kleinmonde der Gasplaneten	100

2.11.5. Gegenläufige Kleinmonde des Jupiter	100
2.11.6. Äußere Kleinmonde des Saturn.....	101
2.11.7. Äußere Kleinmonde des Uranus	101
2.11.8. Äußere Kleinmonde des Neptun	102
2.12. Exoplaneten.....	103
2.12.1. Wechselwirkung zwischen Planeten und Sternen.....	103
2.12.2. Wechselwirkung zwischen Sternrotationen und Gasscheibe	103
2.12.3. Entwicklungsprinzip und Klassen von Gasplaneten	103
2.12.4. Die Klassen der Exoplaneten und die Sternmasse	104
2.12.5. Perioden der Exoplaneten und Gasaufnahme.....	106
2.12.6. Prinzip der Perioden der Exoplaneten.....	106
2.12.7. Die Gasaufnahme von Planeten und die Klassen von Körpern	106
2.12.8. Sternmassen und Periodenveränderung bei Exoplaneten.....	107
2.12.9. Mehrfachsysteme bei den Exoplaneten.....	111
2.12.10. Metallizität des Sterns und Exoplaneten	112
2.12.11. Massenverteilung der Exoplaneten bei unterschiedlichen Sternmassen.....	112
2.12.12. Bedeutung der Braunen Zwergen.....	113
2.12.13. Exoplaneten und Doppelsterne.....	113
2.12.14. Entstehungsort, Exoplaneten und Mehrfachsternsysteme.....	115
3. Die Sternentwicklung.....	116
3.1. Einzelsterne und Erststerne	116
3.1.1. Unterscheidung in zwei Arten von Sternen.....	116
3.1.2. Temperatureinteilung der Sterne	116
3.1.3. Prinzip der Sternentstehung	116
3.1.4. Sterntemperatur und der Entstehungsbereich von Körpern	117
3.1.5. Die Wirkung der Konvektionszonen.....	120
3.1.6. Spektralklassen und Sternrotation.....	121
3.1.7. Leuchtkraftverminderung der Jungsterne.....	122
3.1.8. Sichtbare Einflüsse der Planeten auf die Stern.....	123
3.1.9. Metallizität und Sternentwicklung	123
3.1.10. Sternmagnetismus und das Alter von Sternen.....	124
3.2. Doppelsterne.....	125
3.2.1. Der Übergang vom Planeten zum Stern.....	125
3.2.2. Arten der Doppelsterne	126
3.2.3. Abstände der Doppelsterne	128
3.2.4. Häufigkeit und Temperatur der Doppelsterne.....	129

3.2.5. Massenunterschied der Doppelsterne	130
3.2.6. CP-Sterne	130
3.2.7. RS-Canum-Venaticorum-Sterne	131
3.2.8. Ap- und Am-Sterne	132
3.2.9. Sternklassifizierung.....	133
3.2.10. Die obere Grenze des Instabilitätsstreifens	133
3.2.11. Gravitation und die Kerne von Zweitsternen	134
3.2.12. Charakter der Wolf-Rayet-Sterne.....	135
3.2.13. Dichte Kernen bei massenreichen Sternen.....	136
3.2.14. Zwei Arten der Doppelsternentwicklung	137
3.2.15. Doppelsternbildung und Planetenentstehung	138
3.2.16. Die Leuchtkraftklassen.....	138
3.3. Besondere Fusionsprozesse.....	140
3.3.1. Fusionsprozesse und Positionen im HRD	140
3.3.2. Fusionsstufe des Heliumbrennens eines Sterns.....	141
3.3.3. Fusionsprinzip der Nova	141
3.3.4. Arten der Supernova und ihre Fusion	142
3.3.5. Stärke der Supernova Ia	143
3.3.6. Das Fehlen der Supernova II in der Population II.....	143
3.4. Das Ende der Sterne	144
3.4.1. Der Unterschied zwischen DA- und DB-Sternen	144
3.4.2. Die Temperaturlücke der DB-Sterne.....	144
3.4.3. Pulsare und Doppelsterne.....	144
3.5. Die alten Sterngenerationen und Galaxien.....	146
3.5.1. Metallizität und alte Sterngenerationen.....	146
3.5.2. Sternverhalten und Metallizität	147
3.5.3. Die Masse der Galaxien und die Metallizität	148
3.5.4. Metallizität und frühere Sterngenerationen.....	149
3.5.5. Wesentliche Strukturen bei der Galaxiebildung.....	150
3.5.6. Balken und Spiralarme in Galaxien	151
3.5.7. Große Galaxiestrukturen	151
3.5.8. Die Entstehungsfront der frühen Sterne im Universum	151
3.5.9. Metallizität und Kugelsternhaufen	152
3.5.10. Massenbestimmungen im Universum	153
3.6. Zusammenfassung zur Entwicklung von Sternen	155
3.6.1. Grundsätzliche Prinzipien der Sternbildung ohne Planetenentstehung.....	155

3.6.2. Steuerungsprinzip und der Mechanismen zur Sternentwicklung.....	155
3.6.3. Sterngenerationen.....	155
3.6.4. Prinzip der Doppelsternentstehung	156
3.6.5. Prinzipien der Sternsteuerung durch Doppelsternen.....	156
3.6.6. Metallizität und Häufigkeit schwerer Elemente im Universum.....	157
3.6.7. Das neue Klassifikationssystem	157
4. Wissenschaftskritik und Analyse der eigenen Arbeit	158
4.1. Dimension der Idee	158
4.2. Die besondere Bedeutung des Sonnensystems.....	158
4.3. Analyse aus Bezugssystemen und der Logik	159
4.4. Bemessungen von Bezugssystemen	160
4.5. Geometrisches Beispiel zum Bezugssystem	161
4.6. Rotation von Festkörpern und das Bezugssystem.....	162
4.7. Zusammenfassung der Temperaturprobleme	162
4.8. Kombinatorische Leistung durch den Datenvergleich	163
4.9. Datenanalyse bei den Exoplaneten und Mehrfachsternsystemen	163
4.10. Abschließender Gedanke.....	163
Tabellen.....	165
Liste von Grafiken und Tabellen.....	188
Literatur	190
Vorwort zum Atom	193
Das Atom.....	197
1. Entstehung der Atome	197
1.1. Der Atomkern.....	197
1.2. Das Elektron und seine Entstehung.....	198
1.3. Das Elektron und die Positionen der Quark	198
1.4. Ladungsverteilung oder Ladungsverhalten und Radius	198
1.5. Abstand des Elektrons vom Atomkern.....	199
1.6. Entstehung der Atomkerne.....	199
1.7. Das Top-Quark und das Bottom-Quark	201
1.8. Atome und Antiteilchen im frühen Universum.....	201
1.9. Teilchenentstehung, Materie und Antimaterie	202
2. Die Elemente	203
2.1. Die erste Schale im Atomkern	203
2.1.1. Vom Wasserstoff zum Deuterium.....	203
2.1.2. Vom Tritium zum Helium.....	203

2.1.3. Helium und das Elektron.....	204
2.2. Die weiteren Schalen im Atomkern	206
2.2.1. Vom Helium über das Lithium hinaus	206
2.2.2. Struktur der zweiten Schale.....	207
2.2.3. Das 4. und 5. Proton auf der 2. und 3. Schale	209
2.2.4. Die drei Schalen des Atomkerns	210
2.2.5. Die 4. und 5. Schale des Atomkerns	211
2.2.6. Die Fusionsstufen der Sterne.....	211
3.1. Energie, Ladung und wirkende Kräfte	212
3.1.1. Die Energie des Elektrons auf seinen Schalen	212
3.1.2. Die Bedeutung der Kräfte der einzelnen Teilchen	212
3.1.3. Das Grundlegende der unterschiedlichen Ladungen des Atoms.....	213
3.1.4. Entwicklung der Atome in der Geschichte des Universums.....	213
3.1.5. Ladung und Gravitation - ein Erklärungsversuch	214
4. Der kurze Zusammenhang	215
4.1. Kräfte im Atomkern, der Spin, die Ladung und das Elektron.....	215
5.1. Tabellen.....	216
5.2. Bilder- und Grafikverzeichnis.....	219
5.3. Textquellen.....	220

Vorwort zur ersten Auflage

In dieser Abhandlung geht es um die Bildung von Körpern um einen Stern. Es wird darin ein neuer Entstehungsablauf entwickelt, der auf zentrale Probleme innerhalb unseres Sonnensystems Antwort geben möchte. Es geht darin um die Frage: Wie kommt es zur Rotation von Körpern, die sich um den Stern bilden? Auf die Stellung der Mondsysteme bei den Gasplaneten wird versucht eine Antwort zu geben. Es geht um die Größen und die Position der Monde bei den Gasplaneten. Das heißt, es geht allgemein um die Strukturen innerhalb unseres Sonnensystems. Wie könnten diese entstanden sein?

Eine der wesentlichen zentralen Frage liegt darin: Wie entstehen aus kleinen Körpern große Körper. Wie bilden sich unterschiedliche Körperklassen, wie Eisen-, Gesteins- und Eiskörper.

Im weiteren Blickfeld geht es um die Position anderer Planeten um einen Stern. Wie kann man diese unterschiedlichen Positionen erklären.

Eine weitere zentrale Frage liegt darin, welchen Einfluss hat die Bildung von Körpern um einen Stern auf den Stern selbst. Dann geht es darum, wie sich Doppel- und Mehrfachsternsysteme bilden.

Die letzte Frage liegt darin, welchen Einfluss könnte die Planetenentstehung auf die unterschiedlichen Sternenerationen haben.

Die Antwort auf all diese Fragen ergibt sich aus der Idee, dass alle Körper kondensieren und sich in Sternnähe entwickeln. Der zweite wichtige Gedanke liegt darin, dass bei der Entstehung der vielen kleinen Körper, der Stern stark beeinflusst wird. Die Entstehung von Körpern um einen Stern, seien es nun Monde oder Planeten, steuern demnach die Entwicklung der Sterne.

Darüber hinaus kann man mit dieser neuen Idee eine ganze Menge Aussagen zum Verhalten von Sternen machen. Man kann damit erklären, warum Sterne rotieren oder nicht rotieren, oder man kann erklären, warum sich ihre Oberflächen so unterschiedlich verhalten.

Innerhalb dieser neuen Idee zur Entwicklung der Körper um den Stern, stellt sich heraus, dass sich bei Doppelsternen der zweite Stern aus einem Planeten entwickelt. Das bedeutet, auf der einen Seite existiert ein Stern, wie unsere Sonne und auf der anderen Seite ein Stern mit Eisen oder Gesteinskern. Innerhalb eines Sterngebildes hätte man demnach ganz unterschiedlichen Typen von Sternen.

Da die Beschreibung der Entwicklung des Planeten zum Stern sehr genau erklärt wird, können klare Aussagen zu den Abständen von Doppelsternen unterschiedlicher Temperatur gemacht werden. Im nächsten Punkt ist man in der Lage das innere Verhalten dieses zweiten Sterns genau zu beschreiben und es lassen sich damit mehrere Phänomene erklären.

Kommen wir noch einmal zu der Idee selbst zurück! Sie besagt, dass sich alle Körper in der Nähe des Sterns bilden. Sie entstehen hintereinander und sie entstehen paarweise. Monde sind eingefangene Körper und waren vorher den Planeten gleichwertige Körper.

Während der Entwicklung des Sterns werden alle Körper ständig in Bewegung gehalten. Die treibende Kraft ist die Reibung der Körper in dem Gas, das sich zum Stern bewegt. Ein weiterer Faktor ist die Periheldrehung.

So lange Sterne Gase aufnehmen, treiben Körper vom Stern weg. Unterschiedliche Körpergrößen sorgen für eine unterschiedliche Abdrift. Alle Körper haben wegen der Gasstruktur spezifische Inklinationen. Demnach halten sich kleine Körper in ähnlichen Bahnen im Bezug zum Stern auf. So ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie zusammen treffen und größer werden.

Der wesentliche Faktor für die Bildung von Körpern um einen Stern ist die Kondensation. Darauf hin bilden sich unterschiedliche Klassen in unterschiedlichen Abständen zum Stern. Eisen und Gestein bildet sich im ähnlichen Abstand zum Stern, aber unter verschiedenen Inklinationen. Damit

existiert schon in der frühen Phase ein Trennungsverfahren nach der Dichte der Körper innerhalb einer Gasscheibe.

Bei der Bildung von Körpern in der Nähe des Sterns bekommen alle Körper innerhalb des Gases eine Rotation. Ein großer Teil der Körper stürzt dabei während seines Heranwachsens in den Stern. Gesteinskörper mit Eisenanteilen oder reine Eisenkörper erzeugen darauf hin Magnetfelder. Stürzen diese Körper in den Stern, verstärken sich die Magnetfelder in den tieferen Regionen des Sterns, weil dort der Wasserstoff metallische Eigenschaften entwickelt. Das führt zu großen Unruhen in der Sternoberfläche, und zur Bildung von Sonnenflecken und Konvektionszonen bei kühlen Sternen. Bei heißeren Sternen sind die Konvektionszonen in tieferen Regionen, weil sich der Entstehungsbereich von Körpern sehr weit entfernt hat. Die höhere Temperatur des Sterns sorgt für den größeren Abstand des Entstehungsbereichs. Damit stürzen keine Körper mehr in den Stern. Der Stern wird damit auch nicht gebremst. Somit ist auch nicht verwunderlich, dass mit dem Absinken der Konvektionszonen zu dem heißen Stern hin, die Rotation der Sterne mit einem Mal zunimmt.

In dieser kurzen Betrachtung sieht man den Blickwinkel, zur Entstehung von Körpern um einen Stern und den Einfluss dieser Körper auf den Stern. Dieser Blickwinkel der Körperbildung wird innerhalb dieses Buches dargelegt und näher erklärt. Daraus entwickelt sich ein neues Bild der Entstehung, aber auch ein neues Bild über den inneren Aufbau von Sternen. Aus diesen neuen Entstehungsbildern kann man das Verhalten der Sterne unterschiedlicher Art und Temperatur ableiten. Die Erklärung geht jedoch weiter, weil damit auch das Verhalten der alten Sterngenerationen plausibel wird.

Vorwort zu zweiten Auflage

Die zweite Ausgabe kommt deswegen zustande, weil die neuen Ergebnisse zu den Exoplaneten vorhanden sind. Man hat zum jetzigen Zeitpunkt ungefähr 170 Exoplaneten. Damit sind Auswertungen in unter diesen Gasplaneten möglich.¹

Da ich meine Betrachtungen nach Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Körpern untersuche, war ich verblüfft keine Datenauswertung zwischen den Sternmassen und den Exoplaneten vorzufinden. Damit war ich zum ersten Mal gezwungen Daten selber auszuwerten. Mit dieser Auswertung wird der Zusammenhang zwischen den Exoplaneten und den Doppelsternen klarer. Es wird damit immer nahe liegender, dass sich aus Gasplaneten Sterne bilden könnten.

Die Ergänzung des Buches führte zu einer Reihe von neuen Grafiken, die demnach völlig neu sind. Das war auch der Grund, um dieses Buch zu erweitern. Die zweite Ergänzung im Buch bezieht sich auf Fusionsprozesse. Auch da sind mir neue Dinge klar geworden. So hat sich das Bild im Sternaufbau erweitert. Zum Beispiel sind mir die Bedeutung der Wolf-Rayet-Sterne und die Aufteilung der Doppelsterne im hohen Temperaturbereich klarer geworden. Vor allem ist dadurch erst ein neues Klassifikationssystem für alle Sterne entstanden. Das gesamte Bild der Sterne rundet sich damit auch ab.

Zudem findet man am Ende des Buches ein neues Atommodell. Es ist von mir in der Zeit vom April bis Juli 2007 entwickelt worden, und ist ebenfalls aus einer geometrischen Überlegung entstanden.

Volkhard Radtke, Bochum im Februar 2008

¹ Zwei Beitrag zu den Exoplaneten von Dr. Wuchterl

Sterne und Weltraum 1&2/2006

1. Position der Physik in der Planetenforschung und Sternentstehung

1.1. Vergleich der Denkansätze

Der erste Punkt in dem ich mich in meiner Idee von der heutigen Physik unterscheide, liegt in der Erklärung der Temperaturprobleme. Die Physik nimmt als Ursache des Temperaturgebers den Atomaren Zerfall. Wenn man das tut, wischt man alle Positionen von Planeten und ihren Systemen vom Tisch. Man macht sozusagen diesen Tisch leer. Das ist die Basis, um eine neues Modell oder eine neue Idee vorzustellen. Man hat es aber nicht mit einem leeren Tisch zu tun. Diese Leere wird mit einer Gasscheibe gefüllt. Das ist das Strömungssystem, was die Strukturen erklärt. Man hat in dem Sinne nichts außer diesem Strömungssystem.

Die Physiker kennen natürlich auch diese Gasscheibe. Sie messen ihr jedoch keine hohe Bedeutung bei. Sie haben Planeten und Monde nicht vom Tisch gefegt. Sie halten sich an den Strukturen fest, die unser Sonnensystem bietet, die man jetzt auch bei anderen Exoplaneten findet. Das gibt auch den Schein, dass diese Strukturen gegebene Größen sind. Sie verschieben sich nur. Das würden Physiker sagen.

Meine Idee besagt aber, dass der Tisch leer ist, und nur diese Gasscheibe existiert. Aus dieser bin ich wieder in Lage, die gleichen Strukturen zu erklären. Ich lege nur eine andere Entstehungsfolge vor.

Die Physik sagt im Moment, alle Körper entstehen gleichzeitig. Das können sie sagen, weil sie annehmen, dass die Temperatur der atomare Zerfall ist. Meine Idee besagt, sie entstehen hintereinander, weil der Stern der Temperaturregeber ist.

Physiker denken in dem Punkt, wie ich, als sie sagen: Die Sonne oder der Stern nimmt Gase über eine Gasscheibe auf. Insofern entsprechen die Schichten des Sterns seinem Alter entsprechend. Man kann den Stern, wie einen Baum verstehen. Die ältesten Schichten sind innen und die jüngsten Schichten sind außen. Genau das denke ich auch.

Die Physik unterscheidet sich von mir dadurch, dass sie sagt, alle Körper und größere Systeme um einen Stern sind gleichzeitig entstanden. Das heißt, als Jupiter entstand, entstand zur gleichen Zeit für sie auch Neptun oder die Erde. Das denke ich nicht.

In meiner Idee entsteht alles hintereinander und wandert vom Stern weg und reiht sich, wie eine Schnur von Perlen in einer langen Linie auf. Damit wären die ältesten Perlen draußen, und Pluto wäre mit den Körpern im Kuiper-Gürtel der älteste Körper. Merkur wäre dagegen der jüngste, weil er als letztes Entstanden ist. Das wäre ein sonderbarer Baum bei dem die ältesten Schichten außen wären.

Das System ist aber nicht ganz so einfach zu verstehen. Man muss alle Körper als gleichwertig betrachten. Jupiter wäre genau so ein Körper wie Io oder Europa. Dazu kommt, dass sich Körper gegenseitig einfangen. Die Reihenfolge bleibt erhalten, durch das Einfangen von Körpern hat man jedoch größere Systeme, wie das Jupitersystem oder das Saturnsystem. Es gibt aber auch kleine Systeme, wie Pluto und Charon und das Erdmondsystem. Zudem existieren einzelne große Körper und Kleinkörper. Wie diese Systeme entstehen, oder warum große Systeme nicht entstehen, folgt bestimmten Gesetzen, und muss erklärt werden. Wichtig ist jedoch der Denkansatz, bei dem alles hintereinander entsteht. Dieser Denkansatz steht im Vordergrund.

Der zweite Punkt der mich von der Physik unterscheidet, liegt in der Trennung von Substanzen unterschiedlicher Dichte und Temperatur. Physiker versuchen dies über ein Gravitationsfeld eines massenreichen Körpers zu erreichen. Die Körper kommen gemischt zusammen und trennen sich durch das Absinken der dichteren Körper in den Kern. Aus ihrem Denkansatz, ergibt sich auch, dass alle Körper gleichzeitig entstehen. Damit entstehen alle Körper gemischt. Daraus ergibt sich jedoch das Temperaturproblem und es fällt eine Erklärung der Rotation. Dadurch, dass man

eisen und Gestein durch ein Gravitationsfeld zu trennen versucht entstehen diese beiden großen grundsätzlichen Probleme.

In meiner Idee trenne ich Substanzen in einem Entstehungsbereich über die Temperatur. Das wird mit dem Abstand geregelt. Eisen und Gestein kann man jedoch so nicht trennen, das sie bei ähnlichen Temperaturen kondensieren. Hier habe ich die Erklärung über die Strömung in der Gasscheibe gefunden. Dort spielt die Reynoldszahl eine Rolle, die bei bestimmten Geschwindigkeiten der Gase bestimmte Strukturen im Gas erzwingt. Mit diesen Strukturen ist das Trennungsverfahren möglich, auch wenn Eisen und Gestein bei gleichem oder ähnlichem Radius, sprich ähnlicher Temperatur kondensieren.

Im Groben ist hier demnach alles gesagt, was mich von dem heutigen Denksystem der Physik unterscheidet. Es bedarf natürlich langwieriger Erklärungen, um innerhalb der Strömung einer Gasscheibe, alle Prozesse der Entwicklung, vom ersten Tropfen bis zum Gasplaneten oder Stern zu beschreiben. Es geht in diesem Text oder diesem Gedanken erst einmal um die grundlegenden Bilder, die einmal in der Physik vorliegen, und die ich entwickelt habe. Diese beiden Bilder werden in diesem Kurzen Text erklärt.

1.2. Lösungsversuche in der Astronomie

Innerhalb der Astronomie gibt es noch keine Entschlüsselung der Entstehung des Sonnensystems. Bis heute, weiß man nicht, wie es entstanden ist. Das liegt daran, dass keine Möglichkeiten bestehen, die Entstehung zu beobachten. Die Gründe liegen darin, dass andere Sterne, die mit ihren Planeten entstehen, zu weit weg liegen. Die Sterne sind zudem viel zu hell, um neben ihnen Planeten in ihrer Entstehung beobachten zu können. Das größte Hindernis besteht darin, dass Planeten mit ihrem Stern in undurchsichtigen kalten Gasregionen entstehen. Sie sind eingebettet in Staubpartikel und somit nur unter speziellen Spektren zu durchleuchten.

Demnach bleibt nur die Betrachtung unseres Sonnensystems oder die Betrachtung anderer Planeten um andere Sterne, um die Entstehung von Körpern um einen Stern zu lösen. Man muss aus den vorhandenen Gegebenheiten Rückschlüsse auf die Entstehung ziehen. Die Gegebenheiten sind die Strukturen in unserem Sonnensystem, welches das ganze Planetensystem bietet. Man hat Planeten um andere Sterne gefunden. Damit ist man in der Lage, anderen Strukturen mit unserem Sonnensystem zu vergleichen. Man hat geochemische Daten von Meteoriten aus dem Asteroidengürtel, vom Mars, dem Mond und der Erde. Man kennt Spektren von Sternen, kann damit auf die chemische Zusammensetzung der Sterne schließen, kann in der Tendenz ihre Rotationen, ihre Massen, ihre Magnetfelder, die Oberflächen und ihre Temperatur bestimmen. Man kann zwischen unterschiedlichen Arten der Sterne unterscheiden, zudem gibt es Doppel- und Mehrfachsternsysteme, und sie haben alle ihre Lebensphasen, die man sehr genau erfassen kann. Demnach liegen viele Informationen vor aus denen man Rückschlüsse auf die Entstehung eines Sterns und seiner Planeten ziehen kann.

Ein Grund, warum gerade die Planetenentstehung nicht geklärt werden kann, liegt daran, dass sich das Planetensystem um einen Stern aus einer großen Menge kleiner Körper bildet, die wiederum vorher aus einem Gas entstanden sind. Diese Körper bilden sich innerhalb des Gases weiter. Das heißt, es existieren unterschiedliche Zusammensetzungen der Gasdichte, unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten, unterschiedlich große Körper und unterschiedliche Temperaturen und unterschiedliche Bewegungsabläufe der Körper. Die Summe der vielen Faktoren macht eine reine mathematische Beschreibung unmöglich. Die Mathematik und Physik als Grundlage der Astronomie ist dafür nicht anzuwenden. Genau das wäre das eigentliche Problem der Astronomen. Es liegt nicht daran, dass sie nicht das Verständnis hätte, sondern, dass die Erklärung mit ihren Mitteln nicht möglich ist. Die Physiker schauen vorwiegend auf ein Problem und bedienen sich dann der Großrechenanlage, um ihre Lösung vorzutragen. Sie kombinieren die verschiedenen Aussagen und Fakten nicht miteinander. Das würde zu komplexeren Aussagen führen. Man kann nämlich durch den Datenvergleich zu Lösungen gelangen. Das setzt aber eine höhere Komplexität des Denkens voraus.

Weil diese Kombinatorik nicht gewählt wird, existieren keine allgemeinen Beschreibungen der Entstehung von Systemen im Universum. Das wäre eine der wesentlichen Feststellungen.

Es gibt jedoch unter den Physikern in der Astronomie Versuche bestimmte Einzelprobleme innerhalb unseres Sonnensystems zu lösen. Dabei benutzen sie fast generell einen großen Körper, um viele kleinere Körper zu erklären. Als Beispiel wäre die Entstehung des Erdmondes zu nennen. Die Entstehung der unterschiedlichen Klassen des Asteroidengürtels will man auch über einen großen Körper erklären. Das gleiche findet man bei der Entstehung der Ringsysteme der Gasplaneten, und die Entstehung des Kuiper-Gürtels ist wieder ein Versuch den großen Körper als Lösung anzubieten. Dabei geht man an der grundlegenden Frage vorbei, wie nun aus kleinen Körpern große Körper werden. Das wäre nämlich die eigentliche Frage im Sonnensystem.

Hinzu kommt, dass man über den einmaligen Impuls eines Körpers eine chaotische Beschreibung wählt. Unser Sonnensystem hat in seinen Strukturen einen systematischen Aufbau. Die Häufigkeitsverteilung der Planeten um die unterschiedlichen Sterne ist auch systematisch. Das würde einem einmaligen Impuls erst einmal widersprechen. Es stellt sich daher immer wieder die Frage, was sich beim Entstehen von Körpern um einen Stern als System versteckt.

1.3. Definitionen und Klassifizierungen

Die Wissenschaft arbeitet mit Definitionen. Zum Beispiel definiert die Astronomie einerseits Körper und zum anderen Bahnen und Eigenschaften dieser Körper. Bei den Körpern im Universum ist es schwierig zu sagen: das ist ein Mond, oder das ist ein Planet. Besondere Eigenschaften bestimmen jeden Körper. Bei diesen beiden Körpern scheint es noch einfach zu sein.

Definiert man den Planeten und den Stern, scheint es sehr klar zu sein, weil hier eine klare Definition vorliegt, die besagt, der Stern fusioniere Wasserstoff zu Helium und der Gasplanet tut das nicht. So glaubt man, man hätte eine eindeutige Definition. Beginnt man jedoch ein gedankliches Spiel und stellt sich vor, die Sonne hätte sich weiter entwickelt, dann kann man bei Jupiter als Planeten nicht ausschließen, dass dieser es auch täte. Da die Gasaufnahme neben der Gravitation auch an die Rotation gebunden ist, würde er sehr schnell Gase aufnehmen, denn er dreht sich 6-mal schneller als die Sonne $(13.4.)^2(19.1.)^3$ (siehe Tabelle 5). Würde sich Jupiter zum Stern entwickeln, so hätte er einen Planetenkern und eine Gashölle, die sich nicht viel anders zusammensetzt als die der Sonne. Diese Körper wäre ein Stern mit einem Planetenkern. Einen solchen Kern hätte die Sonne jedoch nicht. Also hätten man es mit zwei Arten von Sternen zu tun, die beide fusionieren, jedoch anders aufgebaut sind.

Von solchen Zusammensetzungen im Doppelsternsystem geht die Wissenschaft nicht aus. So lange die Wissenschaft jedoch nicht weiß, wie Planeten und Sterne im Zusammenhang entstehen, kann sie sicherlich definieren, aber es könnten trotzdem zwei Arten von Sternen existieren.

Da die Wissenschaftler von einer Vorstellung ausgeht, dass alle Sterne im Aufbau gleich sind und darauf ein großes Gebäude aufgebaut, kann es durchaus sein, dass dieses Gebäude nicht stimmig ist. Dieses Gebäude könnte demnach nicht stehen, wenn man feststellen sollte, dass es verschiedene Arten von Sternen gäbe. Dieser Unterschied würde sich ergeben, wenn man die Sternentwicklung mit

² Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Von 1967 bis 1977 nahm die Rotation am Äquator der Sonne von 7200 km/h auf 7600 km/h zu. Die Beschleunigung ist im Bereich von 10° bis 15° am höchsten. Die Magnetfelder der Sonnenflecken sind in diesem Bereich am stärksten, und verhalten sich umgekehrt proportional gegenüber der Rotation.

S. 62

³ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

der Planetenentstehung verbindet. Demnach ist es nicht verwunderlich, dass die Astronomen darauf achten, diese beiden Entstehungen zu trennen. Sie möchten dabei bleiben, dass auf der einen Seite die Planeten entstehen und der anderen der Stern. Es zeigt sich jedoch, dass einmal Exoplaneten und Braune Zwerge sich auch da aufhalten, wo sich Doppelsterne finden. Die Tendenz ist sogar so gelegt, dass Exoplaneten in der Häufigkeit näher am Stern liegen als der Zweitstern (5.1.) (siehe Grafik 6,) ⁴. Das könnte demnach der Hinweis sein, dass die Definition über den Ort nicht möglich ist. Man kann nicht einfach sagen, in der Nähe des Sterns entstehen Sterne oder Doppelsterne und in größerer Entfernung Planetensysteme. Die Position der Exoplaneten gegenüber dem Zweitstern erweckt eher den Eindruck, dass der Übergang fließend ist. Außerdem gibt es Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit der Exoplaneten und den Doppelsternen im Bezug auf die Sterntemperatur. Eine Definition von Körpern, wäre somit nur ein willkürlicher Schnitt, um sich an Klassifizierungen festzuhalten, die eventuell nur Übergänge sind von einer Art zur nächsten. Es geht daher eher darum, die Entwicklung als Schritte zu beschreiben, bei denen es durchaus möglich ist, dass man bestimmte Klassen von Körpern durchschreitet. Genauso muss man zu einer neuen Klassifizierung von Sternen bereit sein. Es wird nicht nur unterschiedliche Klassen von Festkörpern geben, sondern auch unterschiedliche Klassen von Gasplaneten und unterschiedliche Klassen von Sternen. Alle diese Typen hätten einen spezifischen Innenaufbau, der für die jeweilige Klassen sprechen würde.

1.4. Entstehungsart und Entstehungsort der Kleinsysteme

Man ist immer noch geneigt anzunehmen, dass sich der Stern bildet und um ihn herum die Planeten. Auch geht man davon aus, dass sich Jupiter oder Saturn als geschlossenes System auf ihren Bahnen entwickeln. Man der Entwicklung damit etwas Statisches aufgezwungen, weil man an einzelnen Systemen im Sonnensystem festhielt und auch an dem Ort. Die Exoplaneten zeigen, dass sich Gasplaneten eventuell an einem ganz anderen Ort bilden könnten als wir es bisher angenommen haben. Man wird eventuell der Ort aufgeben müssen, wo sich Gasplaneten bilden. Aber nicht nur das, es könnte auch sein, dass man das geschlossene Entstehen von Kleinsystemen, wie Jupiter oder Saturn, aufgeben muss. Wenn man so weit geht, könnte es sogar sein, dass die Bildung von Körpern um einen Stern in seiner unmittelbaren Nähe. Wäre dies der Fall, könnte ein außergewöhnlich großer Einfluss der Planetenentstehung auf den Stern existieren.

1.5. Themenspektrum der Arbeit

Die Exoplaneten erwarten eventuell eine ganz neue Betrachtungsebene zum Entstehen der Planeten. Auch zeigt sich, dass unser Sonnensystem mit System aufgebaut ist. Es existieren jedoch nur einzelne Erklärungsansätze, die mit einmaligen Impulsen durch große Körper oder durch Dichtewellen Antworten geben wollen. Das wäre jedoch ein chaotischer Denkansatz, der auf das System keine Antwort gibt.

Es fehlt demnach ein gesamtes Konzept. Diese Arbeit ist der Versuch einer Analyse aus der sich ein ganz neues Bild über das Entstehen von Körpern um einen Stern entwickelt. Das wäre die Entschlüsselung des Sonnensystems, die darin besteht alle Entwicklungen der Körper in ihrem Bezugssystem zu erklären. Das Bezugssystem ist die cirkum-stellare Scheibe, die jeden Stern während seiner Entstehung umgibt.

⁴ „Rätsel um extrasolare Planeten“, 50 Planeten um andere Sterne gefunden, die meisten weisen eine hohe Exzentrizität auf, sie stehen oft näher am Stern, das Maximum der Exzentrizität liegt bei einer Periode von ungefähr 200 Tagen, also etwa auf der Venusbahn.

Hinter diesem Denksystem erkennt man nach welchen Gesetzen sich Körper um einen Stern entwickeln. In der weiteren Betrachtung geht es um die Wechselwirkung zwischen dem Stern und den sich entwickelnden Planeten.

In der weiteren Betrachtung geht es um die Zusammenhänge zwischen Gasplaneten und Doppelsterne. Wie sehen die inneren Strukturen von Doppelsternen aus, betrachtet man sie über das gesamte Spektrum. Es geht um die gesamte Entwicklung eines Sterns vom Anfang bis zu seinem Ende. In den letzten Abschnitten werden die früheren Sterngenerationen besprochen. Am Ende kommen große Strukturen im Universum zur Sprache. Es handelt sich bei diesen Überlegungen nicht mehr um die grundlegende Idee, sondern um Gesetze, die sich aus ihr ergeben, und mit denen man auch die Bildung großer Strukturen erklären kann.

2. Planetenentstehung

2.1. Probleme der Planetenentstehung

2.1.1. Das Temperaturproblem von Meteoriten und großen Körpern

Das Temperaturproblem der Entwicklung der Körper um einen Stern teilt sich in zwei Aspekte. Es ist einmal die ehemalige Temperatur der Meteoriten und zum anderen der Wärmefluss von großen Körpern in unserem Sonnensystem.

Die undifferenzierten Meteoriten, speziell die kohligen Chondrite, zeigen Kalzium-Aluminium-Reiche Einflüsse (CAI's) neben kühlen Chondren (2.1.)⁵. Sie sind so zusammengekommen und haben sich seit ihrem Entstehen nicht mehr verändert. Zudem sind sie die ältesten Körper unseres Sonnensystems und spiegeln daher die früheste Phase der Planetenentstehung wieder. Es müssen zu Beginn der Entwicklung schon äußerst hohe Temperaturen zwischen 1500 und 1900 Kelvin geherrscht haben, die von außen gekommen sein müssen.

Die Olivinkörner im Allende-Meteoriten sprechen für eine schnelle Entwicklung in einem heißen Gas, was die äußeren Schichten dieser Körner mit FeO angereichert hat (2.8.)⁶.

Auch die differenzierten Meteoriten lassen auf hohe Temperaturen schließen. Die Widmannstättenischen Figuren in Eisenmeteoriten sind nur zu erklären, wenn sich ein Körper über mehrere 10 Millionen Jahre nahe dem Schmelzpunkt hält (7.10.)⁷. Zudem weisen diese Meteoriten

⁵ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Schmelztemperatur und Entwicklung der kohligen Chondrite. Die Zusammensetzung bestimmter Chondren (CAI's) fordert Temperaturen über 1500 Kelvin, die Jahre andauert haben könnten.

S. 84 f

⁶ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Die Olivin-Körner haben einen dünnen Mantel mit stark angereichertem FeO und könnten durch ein heißes Gas erklärt werden. Die Erhitzungsphasen müssen mehrmals aufgetreten sein.

S. 85 f

⁷ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Cambridge University Press 1991

Widmannstättenischen Figuren

S. 222

Remaglypte auf, die nur durch die turbulente Bewegung heißer Gasmassen erklärbar sind (15.2.)⁸. Der Temperaturregeber kommt demnach auch hier von außen.

Um nun eine einheitliche Lösung für die erforderlichen Temperaturen aller unterschiedlichen Arten der Meteoriten zu erhalten, kann ein Temperaturregeber nur von außen kommen. Das schließt die undifferenzierten Meteoriten ein.

In den Kometen, die sich auf den unterschiedlichsten und auch sehr großen Bahnen um die Sonne bewegen, findet man ebenfalls Olivinkörner.⁹ Olivinkörner können nur in der Nähe des Sterns entstehen. Kometen sind demnach auch Körper, die aufgrund ihrer inneren Zusammensetzung einen Hinweis liefern, dass sie in der Nähe des Sterns entstanden sind.

Tab. 7.2: Wärmefluß an der Oberfläche von Sonne und Planeten.

Objekt	Gemessener Wärmefluß [$\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$]
Sonne	66'000'000
Erde	0,055
Mond	0,03
Jupiter	7,6
Io	1-3
Saturn	2,8
Uranus	< 0,18
Neptun	0,28
Solarkonstante	1360

Tabelle 1: Wärmefluss von Körpern im Sonnensystem (19.13.)¹⁰.

Alle größeren Körper im Sonnensystem haben eine Wärmequelle und damit einem Wärmefluss. Sie geben mehr Wärme ab als sie bekommen. Zudem weisen Monde, wie Miranda Strukturen auf, die ehemals von einer hohen Temperatur während der Entstehung sprechen. Besonders

⁸ Rolf W. Bühler: „Meteorite“ - Urmaterial aus dem interplanetaren Raum, Weltbild Verlag GmbH, Augsburg 1992 Birkhäuser Verlag Basel

Die Eisenmeteoriten von Cabin Creek und Bushman, Land, Namibia weisen ausgebildete Remaglypten auf, die nur dadurch zu erklären sind, dass sich dieser Körper in schnell bewegten turbulenten und vor allem heißen Luftmassen aufgehalten haben muss. Die Remaglypten sind nicht durch Ausbrennen von niedrigschmelzenden Mineralien zu erklären, was vielfach angenommen wird. Es sind daumengroße Dellen in der Oberfläche.

S. 117 & 119

⁹ Presseinformation der Esa

„Die Edelstein-Connection“: Kometen enthalten Olivinkörner, die nur in der Nähe eines Sterns entstanden sein können.

Nr. 10-97 Paris 28. März 1997

¹⁰ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Tabelle über den gemessenen Wärmefluss bei größeren Objekten in unserem Sonnensystem.

S. 140

deutlich wird der Wärmefluss bei Jupiter, da er so viel Wärme abstrahlt, dass sie nicht mehr durch das Absinken schwerer Elemente in den Kern oder durch den radioaktiven Zerfall erklärbar ist (19.12.)¹¹.

Wenn wir nach einer Lösung für die gesamte Problematik des Temperaturgebers suchen, kommt meiner Auffassung nach nur die Sonne als Träger dieser Temperatur in Frage. Damit müssten alle Körper, hier schließe ich die Ringe und das Kleinmondsystem der Gasplaneten aus, in der Nähe der Sonne entstanden sein.

2.1.2. Das Rotationsproblem der Körper um einen Stern

Alle Körper, die die Sonne direkt umrunden, rotieren, während die Monde und Pluto eine gebundene Rotation aufweisen. Die Erklärung dafür ist der Massenschwerpunkt. Liegt dieser Schwerpunkt innerhalb eines Körpers, weist er eine Rotation auf; liegt er außerhalb des Körpers hat er die gebundene Rotation. Der Massenschwerpunkt liegt bei allen Monden und bei Pluto außerhalb von ihnen.

Bei Merkur und Venus bedarf es auf Grund ihrer Position im Sonnensystem einer gesonderten Erklärung.

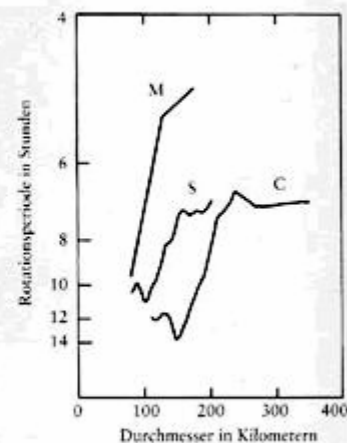
Zudem ist die Rotation abhängig von der Größe und der Dichte. Je größer der Körper oder je größer seine Dichte, umso höher ist die Rotation. Dieses Verhältnis lässt sich an den Asteroiden nachweisen (siehe Grafik 1).

KURZINFORMATION 7.3 Wie schnell rotieren Asteroiden?

Einige Asteroiden rotieren mit der maximal möglichen Geschwindigkeit! Die schnellsten benötigen für eine Umdrehung nur wenige Stunden. Theoretische Berechnungen ergaben, daß diese Körper bei einer geringfügig höheren Umdrehungsgeschwindigkeit Material von ihrer Oberfläche fortschleudern würden.

Innerhalb einer bestimmten Asteroidenklasse rotieren die größten Körper am schnellsten. Bei einer bestimmten Größe drehen sich die metallischen M-Asteroiden schneller als die S-Asteroiden, während die kohlenstoffhaltigen C-Asteroiden am langsamsten sind.

Wenn die Asteroiden homogen aufgebaut sind, dann besitzen die M-Asteroiden eine hohe Dichte, während diejenigen der S-Klasse eine mittlere Dichte und die der C-Klasse die geringste Dichte haben. Das würde bedeuten, daß große und dichte Asteroiden am schnellsten rotieren. (Nach: Stanley F. Dermott und Carl D. Murray: Nature 296, 418 (1982))



Grafik 1: Rotation der Klassen der Asteroiden (vergleiche mit Grafik 5) (7.4.)¹².

¹¹ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Jupiter gibt 2½-Mal mehr Wärme ab als er von der Sonne bekommt. Diese Wärme kann nicht durch Kernreaktionen oder dem Zerfall radioaktiver Nuklide erklärt werden. S. 65 f

¹² Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Cambridge University Press 1991

Rotation in Relation zu Masse, Dichte und Größe. Textquelle: Stanley F. Dermott und Carl D. Murray: Nature 296, 418 (1982), S. 210

Im Fall der Erde existieren zwei Rotationsneigungen. Der Eisenkern rotiert unter einem kleineren Winkel gegenüber der Ekliptik als der Gesteinsmantel (5.2.)¹³. Er rotiert zudem schneller als der Gesteinsmantel. Das würde für eine getrennte Entstehung von Eisen und Gestein sprechen. Bei den Asteroiden finden wir das gleiche Verhalten zwischen Eisen und Gestein in getrennten Körpern vor. Da die Achse des Eisenkerns der Magnetachse der Erde entspricht, ist es sehr wahrscheinlich, dass der Eisenkern der Auslöser für das Magnetfeld ist. Daraus kann man zurück schließen, wie sich Magnetfelder in anderen Körpern, wie bei den Gasplaneten entwickeln könnten und dass sie generell etwas mit der Rotation zu tun haben müssen.

Das Rotationsproblem ist nur über die Strömung eines Gases zu erklären. Um jedoch eine entsprechende Gasgeschwindigkeit und Gasdichte zu erlangen, die eine Rotation auslösen könnte, muss man sich in die Nähe des Sterns begeben, wo Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 300 km/s vorlagen, als die Sonne in ihrer frühen Entwicklung stand (16.3.)¹⁴. Das Gas hat eine geringere Geschwindigkeit als die jeweiligen Körper, die in der gleichen Umlaufbahn liegen. Die Gasscheibe verdichtet sich in Sternnähe auf der Rotationsebene. Aus dieser Struktur erklären sich die Rotation und die Rotationsneigung der Körper.

Demnach ist auch die Rotation eines Körpers nur in Sternnähe zu erklären. Damit müsste nicht nur die Rotation, sondern auch ihre dichtespezifische Neigungsachse geklärt werden.

2.1.3. Die Drehung der Mondsysteme

Die Drehung der Mondsysteme bei den Gasplaneten steht in sehr engem Zusammenhang mit der Rotation. Auch bei dieser Drehung wäre der Versuch, sie über Einschläge größer Körper zu erklären, kläglich. Damit wäre die Gleichmäßigkeit der Mondstellungen nicht möglich. Auch hier scheint ein Lösungsansatz in der Strömung zu liegen. Auch das ist demnach nur in Sternnähe erklärbar.

2.1.4. Das Drehimpulsproblem eines Sterns

Bei der Bildung eines Sterns haben wir es mit dem Drehimpulsproblem zu tun. Bewegen sich Gase auf ein Zentrum zu, worin sich ein Stern bildet, müsste der Drehimpuls dort sehr hoch sein. Das ist nicht der Fall. Daher muss das Drehmoment auf irgendeine Art abgeführt worden sein. Wären alle Körper in Sternnähe entstanden und weggewandert, wäre das eine Antwort auf dieses Drehimpulsproblem. Das Abwandern von Körpern wäre aber auch nur eine Teillösung. Der Magnetismus spielt mit Sicherheit auch eine Rolle beim Rotationsverlust eines Sterns.

¹³ Der geschmolzene Eisenkern der Erde beginnt ab 2900 Kilometer Tiefe. Der innere Kern von 2400 Kilometern Durchmesser dreht sich etwa um 10° Neigung gegenüber der Rotationsachse, und er dreht sich schneller als der Mantel. Im Gegensatz zu der Plattenbewegung der Kruste bewegt er sich über 1 Million Mal schneller, was 20 Kilometer pro Jahr entspricht.

Sterne und Weltraum, 4-1997 - S. 335, Markus Kasper

¹⁴ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Bath Verlag Heidelberg

Rotationen im T-Tauristern. Bahngeschwindigkeit der Scheibenmaterie in der Nähe der Sternoberfläche: 300 km/s. Rotationsgeschwindigkeit der Oberfläche des Sterns hat nur noch 30 km/s.

S. 177

Findet die Rotation in Sternnähe statt und wird durch die Reibung im Gas ausgelöst, so wird auf diese Art auch Drehimpuls abgeführt. Das gilt auch für die Drehung der Mondsysteme. Auch das Drehimpulsproblem spricht für die Entstehung aller Körper in Sternnähe.

2.1.5. Die Position der Exoplaneten

Die Exoplaneten bewegen sich zum großen Teil in der unmittelbaren Nähe eines Sterns (5.1.)¹⁵. Das könnte als Hinweis für die Entstehung der Körper in Sternnähe gewertet werden.

Meine eigene Untersuchung über die unterschiedlichen Temperaturen der Sterne und der Häufigkeit und Perioden von Exoplaneten, kommt zu dem Schluss, dass die Bildung von Exoplaneten temperaturabhängig ist. Das lässt darauf schließen, dass die Kondensation die Basis für die Entwicklung der Körper um einen Stern ist. Damit müssten alle Körper in der Nähe entstanden sein.

2.1.6. Die Entwicklungsgeschwindigkeit

Wenn wir einhellig der Meinung wären, die Körper seien alle in der Nähe des Sterns entstanden, bliebe keine andere Möglichkeit, als dass sie hintereinander entstanden sind. Dabei würde das Argument auftreten, es dauerte viel länger bis sich so viele Körper bilden, als wenn sie gleichzeitig entstünden. Das scheint im ersten Moment richtig zu sein. Betrachtet man diesen Aspekt jedoch genauer, so liegt die schwierigste und langsamste Phase in der Entwicklung von großen Körpern um einen Stern im Anfang. Diese erste Entwicklung kleinster Körper ist abhängig von der Größe des Raums, in der sie entstehen und von der Geschwindigkeit, mit der sich Körper bewegen. Der Raum wird mit dem Abstand vom Stern größer und die Geschwindigkeit kleiner. Mit steter Entfernung vom Stern nimmt damit die Entwicklungsgeschwindigkeit der Körper sehr rasch ab.

Anders ist es bei der Entwicklung in Sternnähe. Dort findet die erste Phase in einem begrenzten Raum statt. Nehmen wir dies an, so könnte der Raum über die Strömungsverhältnisse sogar noch stärker eingeschränkt sein. Das bedeutet, dass dort, wo die Entwicklung besonders langsam abläuft, eben in dieser Anfangsphase der Raum für alle Körper besonders klein und die Geschwindigkeit der einzelnen Körper besonders hoch ist.

Sind Körper ein Stück weggewandert, entwickeln sich hinter ihnen schon die nächsten Körper. Die Entwicklung setzt sich während des Wegwanderns fort. Damit hätten wir nach einer bestimmten Phase eine parallele Entwicklung mehrerer Körper.

Es ist daher kein Widerspruch, sondern eher förderlich, wenn wir von einer Entstehung aller Körper in Sternnähe ausgehen. Das spricht für eine sehr schnelle Entwicklung, was uns übrigens die Asteroiden vorführen. Sie haben sich äußerst rasch gebildet (5.21.)¹⁶.

¹⁵ Thomas Bührke: „Rätsel um extrasolare Planeten“

Es sind 50 Planeten um andere Sterne gefunden worden. Die meisten weisen eine hohe Exzentrizität auf und stehen oft sehr viel näher am Stern als Merkur. Das Maximum der Exzentrizität liegt bei einer Periode von ungefähr 200 Tagen, also etwa auf der Venusbahn.

Sterne und Weltraum, 2-2001 - S. 115

¹⁶Aus Laboruntersuchungen der Meteoriten geht hervor, dass die Asteroiden innerhalb von wenigen Millionen Jahren entstanden. Mario Trieloff und Tilmann Althaus.

Sterne und Weltraum, 5-2002 - S. 32

2.2. Das Prinzip der Körperbildung in Sternnähe

2.2.1. Positionen der Körper um einen Stern

Große Planeten wie Jupiter bewegen sich um andere Sterne oft auf viel kleineren Bahnen als bei Merkur. Man muss daher ein System entwickeln, das große Planeten in großen und kleinen Bahnen erklären kann. Um eine Entstehung von Körpern um einen Stern zu erklären, muss man damit jede feste Örtlichkeit aufgeben.

In ihrer frühen Entwicklung haben Körper ständig ihre Bahnen verändert, weil Gase zum Stern strömten und sich Körper von ihm entfernten. Daraus ergibt sich in der Nähe des Sterns die circumstellare Scheibe. Diese Strömungsstruktur ist ausschlaggebend für die Entwicklung und die Position von Körpern. Zudem waren sie einmal sehr klein und somit stark durch eine Strömung beeinflusst.

Es geht demnach um die Frage, wie Körper in ihre Positionen kamen und wie aus kleinsten Körpern große entstanden. Die Position eines jeden Körpers muss sich aus seiner Eigenschaft der Masse und Dichte erklären lassen.

Tab. 6.4: Minerale in Ca-Al-reichen Einschlüssen (CAIs) und die Temperaturen des Beginns ihrer Kondensation in einem abkühlenden Sonnennebel von 10 Pa Druck und einer solaren Elementzusammensetzung.

Mineral	Chem. Formel	Kondensations-Temperatur [°C]
Korund	Al_2O_3	1485
Perowskit	CaTiO_3	1374
Melilith	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	1350
Spinell	MgAl_2O_4	1513
Metall	NiFe	1200

Tabelle 2: Kondensationspunkt von Mineralien (19.2.)¹⁷

2.2.2. Die Bedeutung der Planetenpositionen

Um begründen zu können, warum sich ein Körper in einer bestimmten Bahn um einen Stern befindet, muss man wissen, woher er kommt und somit, wo er entstand. Er kann nur da entstanden sein, wo die Bedingungen für die Entstehung von Körpern förderlich waren. Zu diesen gehört eine bestimmte Gasdichte und eine bestimmte Temperatur der Kondensation. Diese sind nur in einem bestimmten Abstand vom Stern und seiner Temperatur gegeben. Der Asteroidengürtel hat zudem einen Aufbau, der für die Kondensation sprechen würde.

Da Pluto und Merkur trotz ihrer sehr unterschiedlichen Positionen in ihrer Gesteinszusammensetzung verwandt sind, dürfte ihr Entstehungsort nicht all zu weit auseinander

¹⁷ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Tabelle, S. 119

gelegen haben. Gestein hat zur Bildung eine hohe Kondensationstemperatur (siehe Tabelle 2). Das spricht für einen Entstehungsbereich in der Nähe eines Sterns.

Es ist daher zu erläutern, warum Körper um einen Stern an unterschiedlichen Orten vorzufinden sind. Durch die Verwandtschaft aller größeren Körper im Sonnensystem, muss von einem Entstehungsbereich ausgegangen werden. Eine Lösung ist daher nur möglich, wenn die Körper um einen Stern, einschließlich ihrer großen Monde hintereinander entstanden sind.

Die Position ist damit eine Kategorie des Alters. Pluto wäre einer der ältesten Körper und Merkur der jüngste im Sonnensystem. Die Begründung einer Position liegt in der Länge der Zeit, mit der er sich im Gasstrom bewegte, aus dem die Sonne entstand. Frühe Entstehung bedeutet somit einen langen Aufenthalt im Gasstrom; daraus folgt eine große Entfernung von der Sonne. In entfernten Systeme sind Monde stärker gedreht. Merkur ist demnach als letzter Körper entstanden, hielt er sich nur eine kurze Zeit im Gasstrom auf, und erreichte so eine geringe Entfernung zur Sonne. Danach war die Gasaufnahme der Sonne beendet.

Die großen Monde sind der Reihenfolge nach eingefangen worden. Der Planet wird in diese Reihe eingeordnet. Die inneren und äußeren Kleinmonde haben eine externe Geschichte, wobei die äußeren eingefangen wurden.

Diese Ansicht hat zwei ganz große Vorteile. Das Temperaturproblem ist ganz und das Drehimpulsproblem zum Teil gelöst. Die Gase bewegen sich zum Stern während die Körper vom ihm wegwandern.

2.2.3. Sternveränderung und Planetenentstehung

Planeten entsprechen einer bestimmten Entwicklungsphase des Sterns. Der Stern verändert seine Größe und seine Temperatur während seiner Entstehung. Er nimmt ständig an Temperatur zu und ist in der frühen Phase sehr groß gewesen. In seiner frühen Phase nimmt er auch an Rotation zu. Zu der Rotation gehört auch die cirkum-stellare Scheibe eines Sterns.

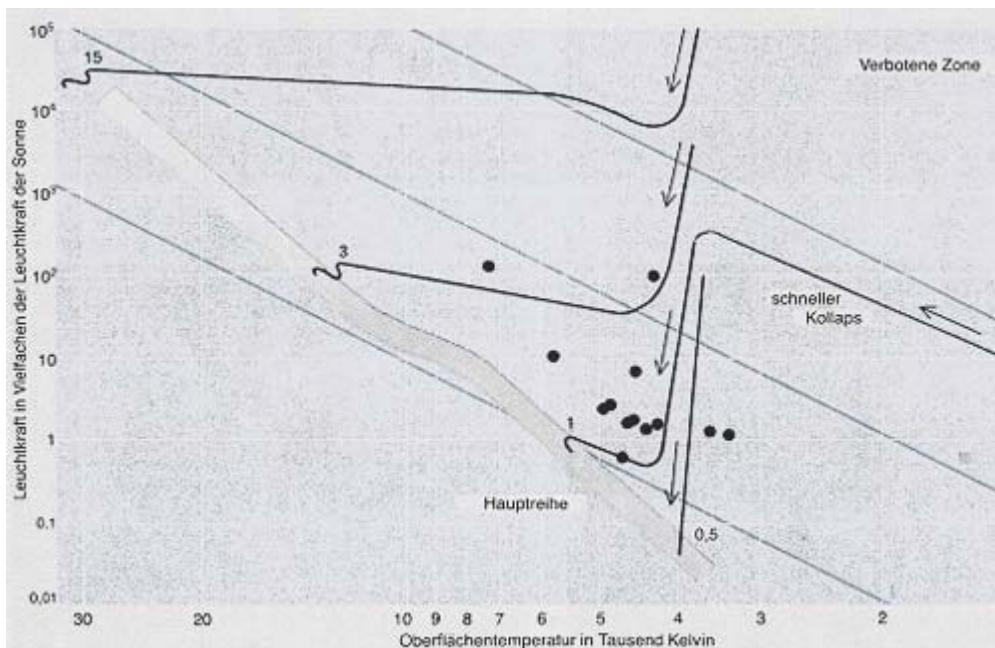
Die Sonne war zum Beispiel für eine bestimmte Zeit ein T-Tauristern und wurde in dieser Zeit um das Mehrfache ihres Durchmessers kleiner. Bis zu dieser unruhigen Phase ihres Lebens könnte sie 50 Mal größer gewesen sein als zum heutigen Zeitpunkt (16.4.)¹⁸. Sie hatte demnach einen größeren Durchmesser als die Merkurbahn. In dieser T-Tauriphase ist sie sehr schnell kleiner geworden. Das erkennt man am Einbruch der Leuchtkraft bei Jungsternen geringer Masse (siehe Grafik 2).

In dieser Entwicklung zum kleineren Stern verliert der Stern an Rotation, wobei die Gasscheibe die 10fache Rotationsgeschwindigkeit gegenüber dem Stern hat. Meines Erachtens ist der Verlust der Größe eines Sterns eine Ursache des Rotationsverlustes. In der Gasscheibe bilden sich Körper, die durch ihre Rotation und die damit erzeugten Magnetfelder beim Absturz in den Stern diesen bremsen. Die Körperbildung in Sternnähe ist die Ursache für ihren Rotationsverlust. Das kann nur bei kühlen Sternen stattfinden, da der Entstehungsbereich, der sich nach der Kondensation richtet, nah genug am Stern liegt. Das führte zur Bildung der Konvektionszonen und der Sonnenflecken, die nur bei kühlen Sternen zu finden sind. Oberhalb von 6000 K trennt sich der Entstehungsbereich vom Stern. Hier ist bei den Sternen dann zweierlei zu beobachten. Einmal sinken die Konvektionszonen in tiefere Schichten und zum anderen nimmt die Rotation der Sterne mit einem mal zu (14.16.)¹⁹ (5.8.)²⁰. Dieses Bild muss auf die Planeten in unserem Sonnensystem übertragen werden.

¹⁸ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Barth Verlag Heidelberg
T-Tauristerne sind beträchtlich größer als 2 aber kleiner als 50 Sonnenradien. - S. 147

¹⁹ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg –

Ab der Temperatur, wo die Konvektionszonen tiefer in den Stern verschwinden, steigt die Rotation der Sterne an. S. 165



Grafik 2: Größenveränderung in der Jungsternphase (Vorhauptreihensterne) (2.2.)²¹

Wenn die Planeten und Monde hintereinander entstehen, entsprächen die äußeren Planeten der frühen Phase und die inneren Planeten der späten Phase der Sonnenentwicklung. Zum späten Zeitpunkt war die Sonne sehr viel kleiner. Diese beiden Phasen der Sonne und der Größeneinbruch müssten sich bei den Planeten niedergeschlagen haben und sie in zwei Bereiche teilen. Diese Einteilung ist gut zu sehen. Im äußeren Bereich finden wir die Gasplaneten mit ihren Monden und im inneren Bereich die festen Planeten. Dazwischen liegt der Asteroidengürtel.

Der Asteroidengürtel weist die Struktur eines Entstehungsbereiches auf. Das bedeutet, es existieren bestimmte Klassen, sortiert in einem bestimmten Abstand zur Sonne und diese Klassen sind nach Kondensationsstufen geordnet. Er wäre demnach das Fragment eines Entstehungsbereiches, der durch die schnelle Verkleinerung der Sonne ausgekühlt und damit in seiner Entwicklung erhalten geblieben ist.

Nach diesem Bild wären die Gasplaneten mit ihren Monden Ausdruck der T-Tauri-Phase unserer Sonne. Der Entstehungsbereich stand in dieser Phase nicht so weit von der Sonne entfernt und ein beträchtlicher Teil der Körper, die sich dort gebildet haben, sind in die Sonne gestürzt. So wären von der Zeit der Bildung des Kuiper-Gürtels bis hin zu Callisto große Mengen Eisen und eisenhaltigem Gestein in den Stern gestürzt. In dieser Phase ist die Sonne sehr unruhig gewesen. Betrachtet man im Vergleich dazu kühlere Sterne, so fällt auf, dass die Konvektionszonen und die

²⁰ Rotation und Temperatur von 3 Jungsternhaufen verschiedenen Alters im HRD. Siehe Altersbestimmung im der T-Tauristerne, Textquelle 7.3. und Temperatur und Leuchtkraftdiagramm bei kleinen Jungsternen, Textquelle 2.2.

Sterne und Weltraum, 7-1998 - S. 626

²¹ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Temperatur und Leuchtkraftentwicklung bei Jungsternen kleinerer Masse.

S. 101

damit verbundenen Sonnenflecken zunehmen (10.5.)²². Diese Sterne sind in dieser Phase stecken geblieben und haben sich nicht weiter entwickelt, wie unsere Sonne.

Unsere Sonne hat sich nach der T-Tauriphase noch weiter gebildet und das innere Planetensystem ist entstanden. In dieser Phase hat sich der neue Entstehungsbereich von ihr getrennt. Das erklärt, warum die Eisenkerne der Monde und Planeten größer sind, als bei den Monden des Jupiters. Daher hat Merkur, der nach diesen Überlegungen als letzter entstand, eine außergewöhnlich hohe druckentlastete Dichte (19.1.)²³. Seine Entwicklung brach zudem ab, als er den Gesteinsmantel zu bilden begann. Das bedeutet, sein Eisenkern ist besonders groß. Dieser ist demnach vergleichbar mit dem von Venus und der Erde. Diese Körper im inneren Sonnensystem entsprechen der letzten Entwicklungsphase der Sonne. In dieser Phase war der Entstehungsbereich von der Sonne getrennt und es stürzten keine Körper ab.

Das wesentliche dieser Betrachtung liegt darin, dass man auf diese Weise einerseits die Planetenentstehung besser versteht, zum anderen aber auch erkennen kann, warum sich Sterne unterschiedlichster Temperatur so oder so verhalten. Das Andere ist, man kann den Asteroidengürtel so stehen lassen wie er ist. Das ist auch sehr wesentlich, denn jede Struktur und jedes Detail in unserem Sonnensystem, aber auch an anderen Orten, hat seine Bedeutung. Dahinter stecken wesentliche Aussagen und die Aufgabe ist es, heraus zu bekommen, warum diese Strukturen entsprechend sind.

2.2.4. Entstehungsbereich und Sterntemperaturen

Wenn man diese Gedanken zum Entstehungsbereich weiter spielte, würde sich bei heißeren Sternen, also ab den F-Sternen, der Entstehungsbereich völlig vom Stern trennen. Das bedeutet, alle Sterne, die eine höhere Temperatur erlangen als die G-Sterne, haben eine andere Oberfläche, haben aber auch einen anderen Kern. Während bei kühlen Sternen ständig Körper in diesen stürzen, haben die heißeren Sterne, abgesehen von den CP-Sternen, eine ruhige Oberfläche. Ausdruck der kühlen Sterne sind die Konvektionszonen und Sonnenflecken. Die Konvektionszonen und Sonnenflecken beginnen ab den M5-Sternen und versinken ab den F-Sternen in tiefere Schichten und verschwinden erst bei den A-Sternen (10.5.). Hier besteht der wesentliche Zusammenhang, der sich auf die Rotation der Sterne bezieht. In dem Moment, also ab den F-Sternen, wo die Konvektionszonen in tiefere Schichten verschwinden, steigt die Rotation an. (siehe Grafik 3). (10.7.)²⁴

²² James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford 1994

Die Tätigkeit der Chromosphären und Koronen und damit auch der Magnetismus (Sonnen-fleckentätigkeit) nimmt von den späten A-Sternen (kühle A-Sterne) bis hin zu den M5-Sternen zu, und brechen dann mit einem mal ab.

S. 174

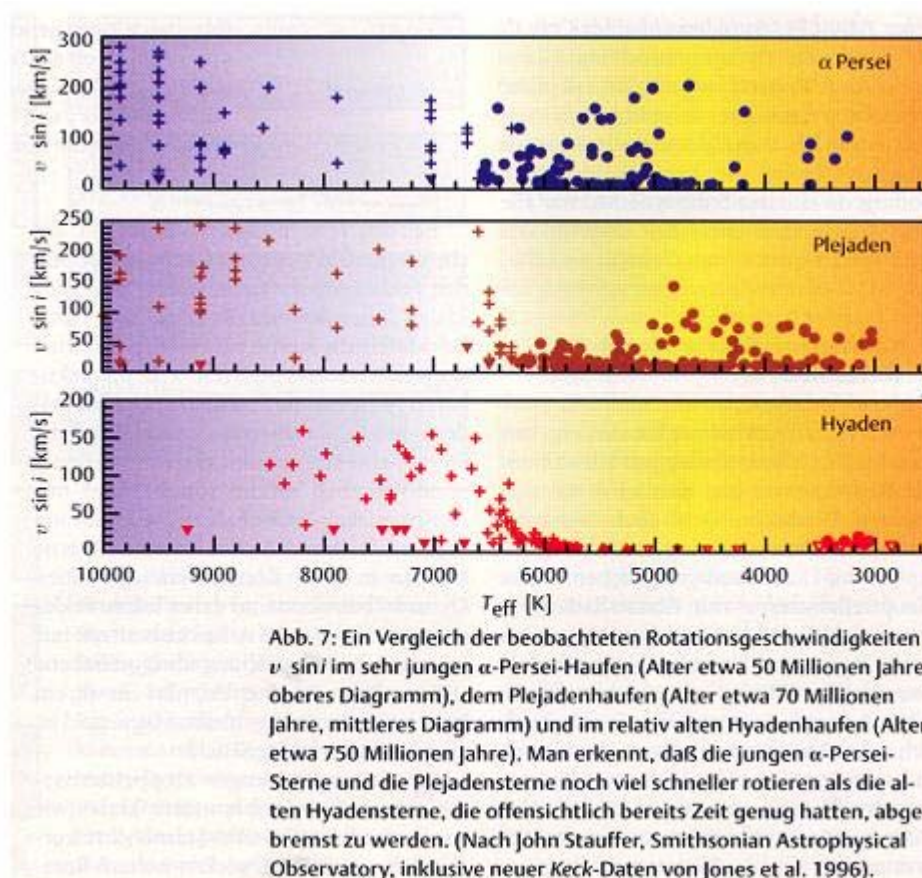
²³ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems. Merkur hat eine druckentlastete Dichte von 5,31 g/cm³, Venus 3,95 g/cm³ und die Erde 4.03 g/cm³.

S. 47 f

²⁴ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Rotationsgeschwindigkeit der F-Sterne, von 30 km/s bis 100 km/s, S. 193



Grafik 3: Rotation von Jungsternen (5.8.)²⁵

Bei den kühlen Sternen liegen Magnetfelder vor, die den Sonnenflecken verwandt sind (10.3.)²⁶. Von den Sonnenflecken weiß man, dass sie Einfluss auf die Rotation der Sonne nehmen. Beim Maximum der Sonnenflecken rotiert unsere Sonne um 400 km/h langsamer als im Minimum (13.4.)²⁷. Da erkennt man den Zusammenhang sehr gut. Es existierte daher ein

²⁵ Rotation und Temperatur von 3 Jungsternhaufen verschiedenen Alters im HRD.

Sterne und Weltraum 7-1998 - S. 626

²⁶ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Flare-Sterne zeigen die stärkste Tätigkeit von Chromosphären an, mit unregelmäßigen kurzen aber starken Ausbrüchen, die der Sonnenfleckentätigkeit und deren Auswirkung auf die Chromosphären unserer Sonne verwandt sind.

S. 131 f + 176,

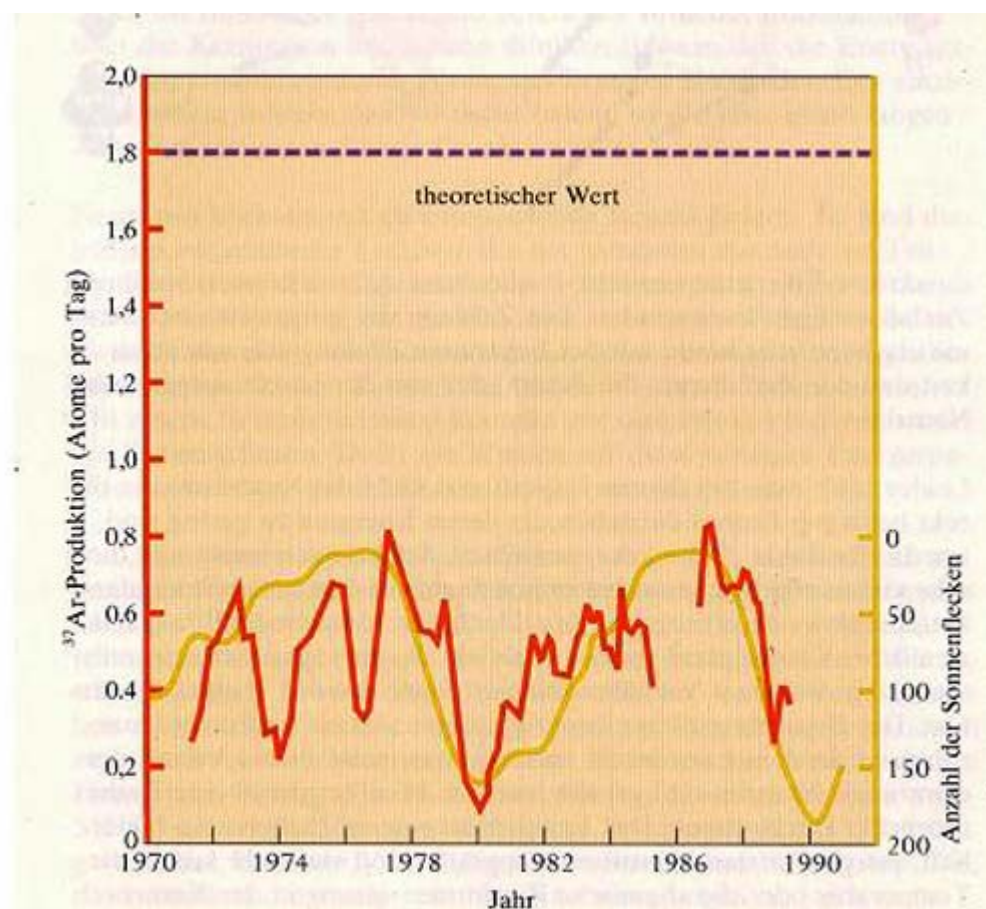
²⁷ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Von 1967 bis 1977 nahm die Rotation am Äquator der Sonne von 7200 km/h auf 7600 km/h zu. Die Beschleunigung ist im Bereich von 10° bis 15° am höchsten. Die Magnetfelder der Sonnenflecken sind in diesem Bereich am stärksten, und verhalten sich umgekehrt proportional gegenüber der Rotation. - S. 62

Steuerungsmechanismus. Dieser besteht darin, dass bei kühleren Sternen so viele Körper abgestürzt sind. Die Entstehung von Körpern in Sternnähe steuert demnach die Rotation des Sterns.

Die Rotation ist daher ein sehr wichtiger Faktor für die weitere Entwicklung des Sterns. Nur bei genügend hoher Rotation plattet die Gasscheibe ab. Das Gas wird linear, wenn eine bestimmte Geschwindigkeit überschritten wird. Dieser Grenzwert hängt mit der Viskosität des Gases zusammen und ist an die Reynoldszahl gebunden. Über die Reynoldszahl kann man festlegen bei welcher Geschwindigkeit des Gases, die Strömung umkippt. Bei geringer Geschwindigkeit ist sie turbulent. Bei hoher Geschwindigkeit wird sie linear. Innerhalb der linearen Strömung verdichtet das Gas mit der weiter steigenden Rotation. Das sorgt für die differenzielle Rotation des Sterns. Der wichtige Effekt liegt darin, dass in der dichten linearen Strömung der Sonnenwind keinen Einfluss hat. Nur in dieser Linearen Strömung kann das Gas bei stärkerem Sonnenwind die Sternoberfläche erreichen.

Nur da, wo die Gasscheibe sich abplattet, bilden sich größere Körper. Sie setzen sich in der Gasscheibe auf zwei Ebenen ab und müssen von dort aus diese Gasscheibe durchdringen. Das können sie nur wenn sie größer werden. Dabei erlangen sie auch ihre frühe Rotation. Das heißt, die Körperbildung setzt in der Sternentwicklung mit einem Mal ein.



Grafik 4 : Neutrinohäufigkeit in der Sonne und Sonnenfleckentätigkeit (14.1.)²⁸

²⁸ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Die ältesten Neutrinomessungen über 20 Jahre in Süddakota mit Perchlorethylen haben nur ein Viertel der berechneten Neutrinos nachgewiesen. Das verblüffende des Experiments ist die umgekehrte Proportionalität gegenüber den Sonnenflecken.

Dieses zweiteilige Bild der Sterne über ihre Temperatur findet eine Logik, wenn man von einem Entstehungsbereich ausgeht, der sich mit ansteigender Temperatur der Sternoberfläche von ihm trennt. Das bedeutet aber auch, dass Sterne in ihrem inneren Aufbau sehr unterschiedlich sind. Die kühlen Sterne hätten große Anteile schwerer Elemente in sich aufgenommen. Diese erzeugen starke Konvektionszonen. Die Konvektionszonen vermindern die Fusion des Sterns. Die Fusion ist an die Sonnenflecken gebunden und sie ist umgekehrt proportional zum Fusionsprozess. Das ist an der Neutrinostrahlung der Sonne zu erkennen. Sie ist sehr viel geringer wenn ein Maximum an Sonnenflecken vorliegt (siehe Grafik 4). Diese Neutrinos sind ein Maß für die Stärke des Fusionsprozesses in der Sonne.

Ein weiterer Hinweis liegt in der Fusion von Jungsternhaufen. Ganz junge Sternhaufen liegen im HRD unterhalb der Hauptreihe und setzen sich erst mit der Zeit in die richtige Position. Das erklärt sich über der stärkeren Magnetismus der Sonnenflecken in der frühen Phase, der mehr Energie aus dem Zentrum des Sterns abführt. Das mindert die Fusion.

Kommen wir zu der gesamten Betrachtung zurück, so wäre dieses Bild der Planetenbildung schlüssig mit der Sternentstehung verbunden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Bildung von Körpern in Sternnähe die gesamte Entwicklung der Sterne steuert. Sie bestimmt im letzten Sinne, wie massenreich Sterne werden und wie viele Sterne massenreich werden. Unter diesem Gesichtspunkt hätte die Planetenentstehung einen äußerst großen Einfluss auf die generelle Sternentwicklung. Bezieht man dies auf die abnehmende Metallizität bei früheren Sternenerationen, wäre das von fundamentaler Bedeutung. Es geht demnach nicht nur darum zu erklären, wie sich Körper um einen Stern bilden, sondern darum, wie deren Einfluss auf den Stern aussieht.

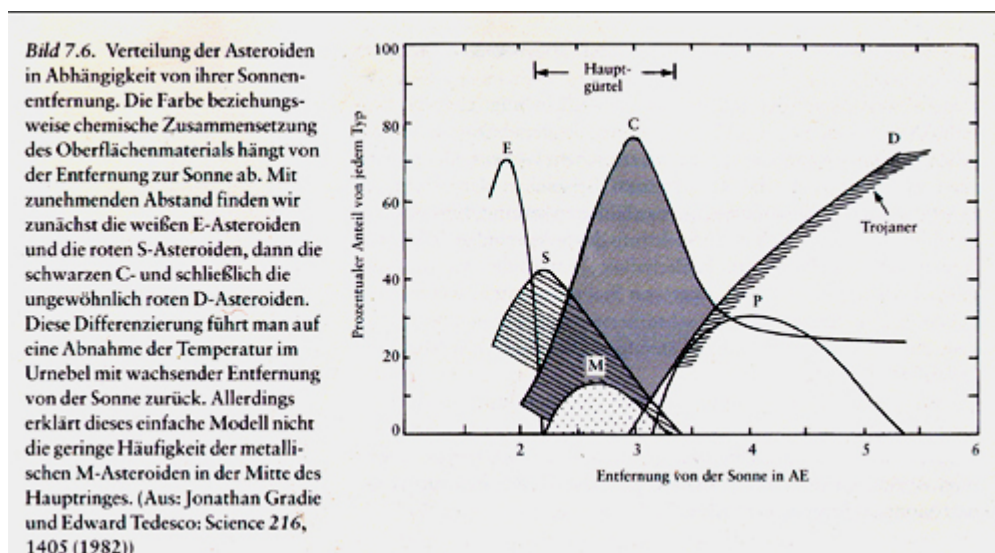
2.3. Große Körper im Sonnensystem

2.3.1. Die Erklärung großer Strukturen im Sonnensystem

Wie beginnt man nun die Dinge, in dem Sinne die Körper zu erklären? Aus den letzten Betrachtungen geht hervor, dass alle Körper in der Nähe des Sterns entstehen. Also gibt es nur einen Entstehungsbereich. Dieser Bereich muss zudem eine Struktur vorweisen, die den Kondensationspunkten von Elementen oder Molekülen entspricht. Eisen kondensiert bei anderen Temperaturen als Wasser. Zudem kann man den letzten Gedanken entnehmen, dass der Stern eine Krise erlebt, das wäre die T-Taurikrise, bei der er recht schnell kleiner wird. Wenn demnach einen Entstehungsbereich sucht, könnte ein solcher als Rest übrig geblieben sein, während der sich verkleinert. Er ist in dem Sinne ausgekühlt. Eine Solche Struktur ist tatsächlich im Sonnensystem zu finden. Diese Struktur hat der Asteroidengürtel, der sich zwischen Mars und Jupiter befindet. Dieser Gürtel ist der erste Ansatzpunkt der Erklärung.

Man könnte über die Tropfenbildung sofort erklären, wie vom kleinsten Körper, - das wären die Chondren, - über die Meteoriten, zu immer größere Körper vorgeht, und so das Heranwachsen erklärt. Es geht aber darum eine kürzeren Beschreibung zu liefern, wie sich das gesamte System von großen Körpern, - in dem Sinne reguläre Monde und Planeten, - gebildet haben. So gelangt man erst einmal zu einem Überblick. Anschließend kann man ins Detail gehen und jede Stufe der Entwicklung beschreiben.

Daher beginne ich bei den Asteroiden. Dort liegen die einzelnen Klassen von Körpern schon vor, die sich innerhalb dieses Gürtels gebildet haben. Die erste Entwicklung liegt nicht darin, wie sich die einzelnen Klassen gebildet haben, sondern, wie haben sich diese zu Monden und Planeten weitergebildet haben. Damit hätte man die Frage beantwortet, wie sich die großen Strukturen entstanden sind.



Grafik 5: Klassen der Asteroiden und Sonnenabstand (7.4.)²⁹

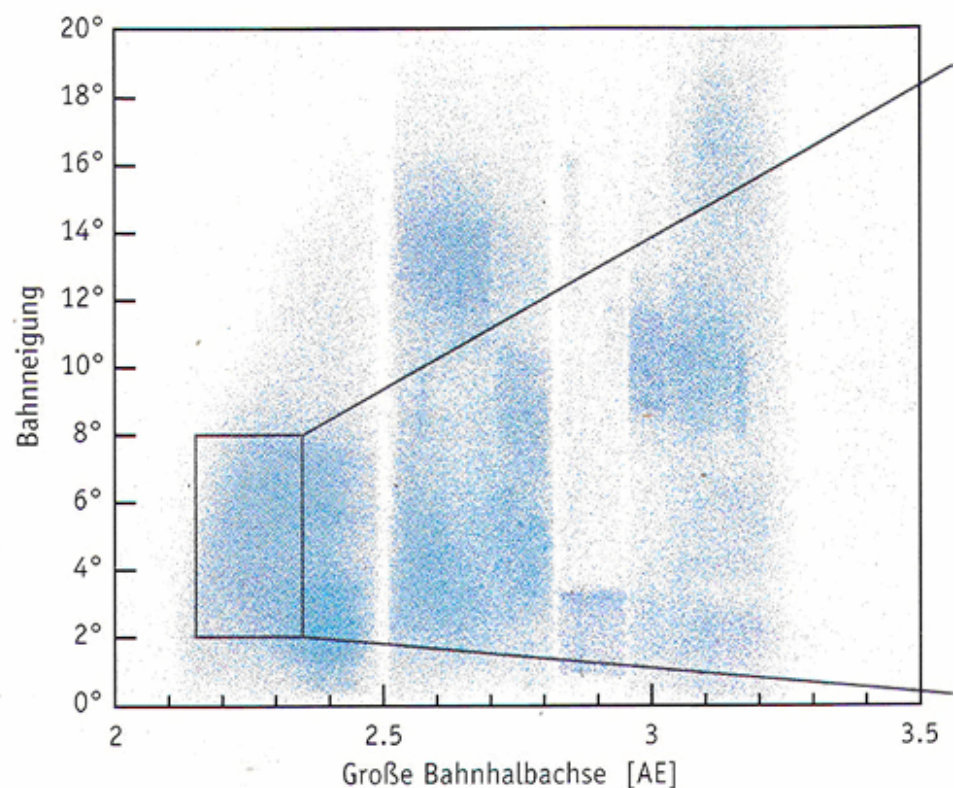
²⁹ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“, Cambridge University Press 1991

Die Asteroiden besitzen bei der M-Klasse eine hohe Dichte, bei der S-Klasse eine mittlere Dichte und bei der C-Klasse eine geringe Dichte. Textquelle: Jonathan Gradie und Edward Tedesco: Science 216, 1405 (1982) S. 210

2.3.2. Grenzgröße einzelner Klassen von Festkörpern

Die Größe der Körper um unsere Sonne ist abhängig von den Klassen, wie wir sie bei den Asteroiden vorfinden. Diese Klassen stehen mit einer bestimmten Dichte im Zusammenhang. Es sind drei Klassen wesentlich, die C-Klasse, die E-Klasse und die M-Klasse, also leichtes Gestein, schweres Gestein und Körper aus Eisen. Diese Klassen bestimmen, welche maximale Größe ein Körper erreicht. Es gibt noch eine S-Klasse unter dem Asteroiden. Die ist eine Mischung aus der E- und der M-Klasse aufgrund der schwachen Rotation der Gasscheibe (Siehe Grafik 5). Sie erklärt die geringe Häufigkeit der M-Klasse.

Diese Größe eines Körpers erklärt sich aus der Geschwindigkeit mit der ein Körper durch den Entstehungsbereich getrieben wird. Diese Geschwindigkeit nenne ich Abdrift. Die Abdrift ist bei einem Eisenkörper wesentlich niedriger als bei einem Gesteinskörper. Zudem entsteht ein Gesteinskörper geringer Dichte, wie man sie in der C-Klasse der Asteroiden vorfinden, eher in der äußeren Region des Entstehungsbereiches. Damit kann er nicht so viel an Masse sammeln.



Grafik 6: Asteroiden und ihre Inklination. Dieser Grafik entnimmt man, dass die E- M- und S-Klasse eine geringe Inklination aufweisen. (5.104.)³⁰

³⁰ Die Asteriden weisen spezifisch zu ihrer hohen Dichte eine geringe Inklination auf. Der Grafik ist zu entnehmen, dass gerade die E-, M-, und S-Klasse im Bereich bis 2,5 EA diese geringe Inklination vorliegt.

Zur Abdrift muss man jedoch noch ein paar nähere Erläuterungen machen. Die Abdrift ist in erster Linie von der Dichte des Körpers abhängig. Die Dichte bestimmt Inklination und Exzentrizität. Körper ähnlicher Dichte haben daher auch eine ähnliche Inklination (Grafik 6). Inklination und Exzentrizität verhalten sich umgekehrt proportional zur Dichte. Die Körper müssen die Gasscheibe durchdringen die sich zur Ekliptik hin verdichtet. Haben die Körper eine hohe Exzentrizität, so bewegen sie sich in einer langen Bahn durch die verdichtete Gasströmung. Auf dieser treiben sie in diesem langen Weg schneller vom Stern davon. Hier wirken zwei Faktoren. Ein Körper geringer Dichte bietet die größere Oberfläche und er bewegt sich über die große Exzentrizität länger durch das verdichtete Gas als ein Körper mit hoher Dichte. So wandert der Körper schneller hinaus und kann in der Zeit weniger Masse sammeln.

So sind Pluto, Triton und auch der Kern von Neptun der E-Klasse der Asteroiden zugehörig. Dann folgt eine ganze Reihe von Körpern der C-Klasse. Von Proteus bis hin zu Japetus. Hier ordnen sich die Planeten ein. Auch sie gehören dieser Klasse an. Ab hier, damit meine ich, ab Titan, treten die Körper der M-Klasse der Asteroiden auf (19.1.) (Tabelle 6)³¹. Das sind Körper mit Eisenkern. Dazu gehört dann auch Jupiter. Diese Linie von Körpern mit Eisenkern zieht sich bis Merkur. Wir sehen in der Reihenfolge, dass nach dem Kuiper-Gürtel erst die E-Klasse auftaucht. Da könnte, wie bei Pluto zu sehen, immer ein Körper der C-Klasse dazwischen liegen. Plötzlich existiert nur noch die C-Klasse, und mit einem Mal taucht die M-Klasse auf. Das muss noch im Detail besprochen werden.

Ein weiterer Faktor für seine Größe ist der Einfangzeitpunkt durch den Planeten. Je weiter der Planet vom Entstehungsbereich entfernt ist, umso größer wird der Mond. Später eingefangene Monde bewegen sich wegen der angestiegenen Masse und größeren Gravitation des Planeten in größere Bahnen. Der jeweilige Bahnradius des Mondes ist damit ein Maß für die Masse des Planeten zum Einfangzeitpunkt. Ist der Mond eingefangen, nimmt er kaum mehr an Masse zu. Die Körper, die er mitbringt und die Körper, die ihm vorausseilen, fallen an den Planeten.

Bei den Monden des Jupiters wird am Dichtegefälle die Wanderschaft durch diesen Entstehungsbereich besonders deutlich. Körper, die früh eingefangen wurden, haben eine hohe Dichte, weil der Einfang in der Mitte des Entstehungsbereiches stattfand. Körper, die später eingefangen wurden, haben eine geringe Dichte. Diese haben in der äußeren Region des Entstehungsbereiches eine große Menge Wasser gesammelt.

Dem Planeten kommt eine gesonderte Rolle im Bezug auf seine Masse zu. Er entwickelt seine Masse im Zentrum mehrerer Körper schneller. Bis zum Einfangen des ersten Mondes ist der Planet genauso strukturiert, wie dieser. Er ist in der Größe und der Zusammensetzung diesem Körper ähnlich. Danach nimmt er schneller an Masse zu als seine Monde.

Die Kometen bilden eine eigene Kategorie von Körpern und haben die geringste Dichte und eine geringe Kondensationstemperatur. Sie sind damit im äußeren Teil des Entstehungsbereiches entstanden. Durch die geringe Dichte werden sie beim durchdringen der Gasscheibe auf stark exzentrische Bahnen gebracht. Damit konnten sie nicht groß werden, weil sie sehr schnell in großen Entfernungen gelangen. Ein weiterer Grund liegt darin, dass ständig heranwachsende Gesteinskörper aus der inneren Region des Entstehungsbereiches durch die äußere wanderten. Damit behinderten sie die Entwicklung der Kometen zu großen Körpern.

Die nächste höhere Größenkategorie von Körpern beginnt mit ungefähr 400 km Durchmesser und kann bis 1500 km Durchmesser erreichen (5.28.)³². Hier handelt es sich um Körper aus leichtem

³¹ Ludolf Schulz: „Planetologie eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

³² Bei den großen Monden der Gasplaneten gibt es drei wesentliche Grenzgrößen. Die großen Saturnmonde, die des Uranus, Proteus von Neptun und Charon von Pluto gehören zu den Monden der C-Klasse.

Sterne und Weltraum Spezial 7 10-2002

Gestein und einer dicken Eisschicht. Wir haben es hier mit der C-Klasse der Asteroiden zu tun, aus der die verschiedenen großen Körper entstanden. Dieses leichte Gestein entsteht im Gegensatz zum Eis näher zur Sonne und bewegt sich wegen der höheren Dichte langsamer aus dem Entstehungsbereich heraus. Durch diese höhere Dichte werden die Körper größer als Kometen. Der jeweilige Körper sammelt erst Substanzen hoher und dann geringer Dichte. Kern und Mantel entstehen separat.

Die nächste Kategorie von Körpergrößen entspricht Körpern wie Pluto und Triton. Ihre Obergrenze liegt bei 2700 km Durchmesser. Diese Körper haben einen Gesteinskern hoher Dichte. Das wäre bei den Asteroiden die E-Klasse. Darüber sammelt sich leichtes Gestein und eine Eisschicht. Innerhalb des Entstehungsbereiches entwickelt sich die E-Klasse näher zum Stern. Zudem können wir feststellen, dass die Dichte der C-Klasse von Uranus bis Saturn noch einmal abnimmt. So sind Rhea und Japetus die Körper mit geringster Dichte und demnach am äußersten Rande des Entstehungsbereiches entstanden.

Das bedeutet, in einer früheren Entwicklungsphase haben sich die Körper mehr aus der inneren Region des Entstehungsbereiches entwickelt, und später immer mehr in die äußere Region verlagert.

Die letzte Kategorie beinhaltet Körper mit einem Eisenkern. Das wären Körper wie Titan oder die Galileischen Monde mit über 5000 Kilometern Durchmesser³³. Über dem Eisenkern liegen zwei Gesteinsmäntel unterschiedlicher Dichte. Die äußere Schicht ist aus Eis, wobei Io so früh eingefangen wurde, dass es ihm nicht mehr möglich war Eis aufzunehmen.

Callisto nimmt zum Kern hin nicht so stark an Dichte zu wie Ganymed³⁴. Er wandert als letzter aus dem Entstehungsbereich und erlebt schon den Temperatureinbruch der Sonne. Wahrscheinlich weist er ein Gemisch aus Eisen und Gestein auf. Betrachtet man im Zusammenhang damit den Aufbau des Asteroidengürtels, so schließt die S-Klasse der Asteroiden die E- und M-Klasse ein, und hat ihr Maximum genau da, wo sich diese beiden anderen Klassen berühren (7.4.)³⁵. Sie ist eine Mischung aus beiden Klassen, und wäre vergleichbar mit den Eisensteinmeteoriten. Aus dieser Mischung besteht Callisto im Kern. Damit steigt seine Dichte zum Zentrum nicht so stark an. Callisto hatte sich bis zur T-Tauri-Phase der Sonne entwickelt. Zu der Zeit trennte die Gasscheibe Eisen und Gestein nicht mehr so gut. Damit ist es auch nicht verwunderlich, dass von der M-Klasse nicht mehr so viele Körper im Asteroidengürtel existieren.

Die Größe der Körper im inneren Sonnensystem hatten wir schon erklärt. Sie hängt mit der höheren Temperatur der Sonne zu ihrem Entstehungszeitpunkt zusammen.

³³ Der Eisenkern von Titan ist noch nicht nachgewiesen. Ich gehe aber davon aus, dass er dem Aufbau von Ganymed entspricht.

³⁴ Bei Callisto ist die Dichte im Kern nicht so hoch, wie bei allen anderen Monden.

Sterne und Weltraum 7-2002 - S. 26

³⁵ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“, Cambridge University Press 1991

Unterteilung verschiedener Arten der Asteroiden im Asteroidengürtel. Textquelle: Jonathan Gradie und Edward Tedesco: Science 216, 1405 (1982)

S. 211

2.3.3. Planeten vor der Gasaufnahme

Die Planeten waren am Anfang nicht größer als ihr erster eingefangener Mond. Sie sind ihren Monden gleich. Was sie unterscheidet ist nur die Rotation. Das bedeutet, Jupiter war kein anderer Körper als Titan und demnach eher vergleichbar mit der Erde und ihrem Mond. Denken wir in unserem System in Paaren so gehört Titan zu Jupiter, Io zu Europa und Ganymed zu Callisto. Hier sind die Paare klar. Der Grund für das Entstehen von Paaren liegt an der Gasscheibe, die Körper gleicher Art und Dichte zu beiden Seiten der Ekliptik trennt. Diese Trennung setzt sich bis zum Einfang des Mondes durch, und soll später noch einmal näher erläutert werden.

Auch bei den äußeren Gasplaneten Saturn und Uranus finden sich diese gleichen Paare. Saturn selbst fehlt jedoch sein Partner. Mimas und Enceladus sind ein Paar und die letzten beiden Monde, die Uranus eingefangen hat, Titania und Oberon sind auch komplett. Es muss ein Körper entstanden sein, den Saturn verloren hat. Er müsste eine Größe haben, die dem ersten eingefangenen Mond der äußeren Gasplaneten von ca. 400 Kilometern Durchmesser entspricht. Wenn er nicht eingefangen wurde, müsste er sich als einzelner Körper zwischen dem Uransystem und dem Saturnsystem befinden. Diesen Körper gibt es tatsächlich. Es ist Chiron.

Chiron hat einen Durchmesser von etwa 180 bis 370 km und er bildet eine Koma von 40000–130000 km Durchmesser aus. Er ist zwar für einen Kometen zu groß, zeigt aber durch diese Koma die Eigenschaften eines Kometen (13.1.)³⁶. Er steht zwischen den beiden Planeten im Verhältnis 3:5, ist äußerst dunkel und hat eine Koma. Das spricht dafür, dass er in der äußersten Region des Entstehungsbereiches entstand, einen kleinen Gesteinskern sammelte, worauf die Eisschicht folgte. Wichtig ist seine verwandte Größe gegenüber dem ersten eingefangenen Mond, wie Miranda oder Mimas.

Die weitere Entwicklung von Chiron zum größeren Körper hat deswegen nicht stattgefunden, weil das nur mit dem Einfang eines Körpers ähnlicher Größe möglich gewesen wäre.

Saturn und Uranus bestehen im Kern aus leichtem Gestein. Neptun hat schon den Gesteinskern mit schwerem Gestein. Bei Jupiter und bei der Erde haben wir den Eisenkern. Damit ist ihr erster eingefangener Mond, ungleich größer als der bei den Gasplaneten. Io und der Erdmond sind daher ähnlicher Größe.

Wie man die einzelnen Klassen bei den Gasplaneten erkennt, wird erst später erklärt, man kann aber kurz voraus greifen. Den Kern des Planeten in seiner Rotationsneigung kann man an seiner Magnetachse erkennen. Hierbei muss man aber die Magnetachse im Bezug zur Ekliptik setzen. Das wird in der Astronomie nicht getan. Daher muss man den jeweiligen Wert für den Planeten aus seiner Rotationsneigung errechnen. Wenn man das getan hat, haben Jupiter und die Erde einen sehr kleinen Winkel der Magnetachse gegenüber der Ekliptik, der nur knapp über 10° liegt. Bei Saturn und Uranus liegt er weit über 20°. Neptun hat eine Magnetachse von 17,4°. Er unterscheidet sich daher sehr klar von Saturn und Uranus.

Um noch einmal kurz zu begründen, was dahinter steckt, muss man die Rotation erklären. Die Rotation ergibt sich aus der ehemaligen Inklination des Körpers. Die Inklination ist ein Faktor seiner Dichte. Sie ist kleiner je größer die Dichte des Körpers ist. Die Gasplaneten haben mit zunehmender Masse beim Einfang ihrer Monde stark an Dichte zugenommen. Dadurch ist ihre Inklination kleiner geworden. Sie haben sich auf dieser Weise der Ekliptik genähert. Was jedoch gleich geblieben ist, das ist die Rotationsneigung des Kerns.

Ein sehr schöner Vergleich ist im Bezug auf diese Überlegungen Pluto. Er hatte es nur geschafft, einen Mond einzufangen. Damit konnte er als Vertreter der E-Klasse der Asteroiden keine

³⁶ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Chiron, Durchmesser 180 bis 370 Kilometer, bei Annäherung an die Sonne bildet sich eine Koma von 40000 bis 130000 Kilometern Durchmesser. Trotz seiner Größe zeigt er das Verhalten eines Kometen. S. 81

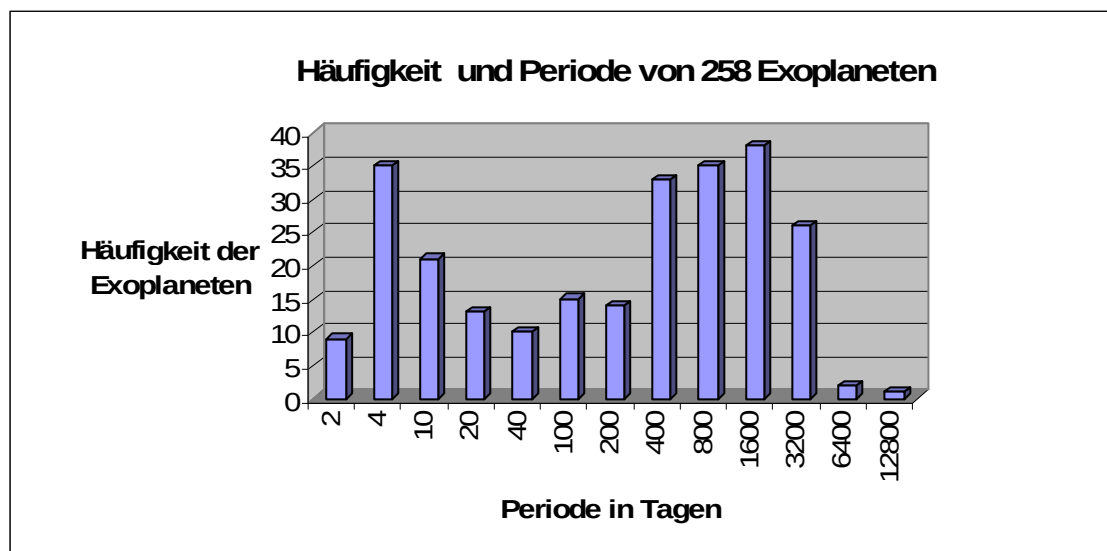
all zu große Masse erreichen. So ist er bei der Strömung der Gasscheibe um die Sonne in seiner Inklination von $17,15^\circ$ geblieben. Dieser Wert ist sehr verwandt mit der Magnetachse des Neptuns, wenn man sie im Bezug zur Ekliptik setzt. So findet man in Pluto eine Bestätigung dieser theoretischen Überlegung.

2.3.4. Entwicklung vom Planeten zum Gasplaneten

Die Masse des Planeten wächst, während er Mond um Mond einfängt. Die Ursache liegt einmal an den Strömungsverhältnissen in Sonnennähe und zum anderen an seiner steigenden Gravitation. Seine steigende Masse führt dazu, dass seine Abdrift immer kleiner wird. Das bedeutet, es kommen immer schneller kleinere Körper auf ihn zu, die der jeweilige Mond aus dem inneren Bereich mitbringt.

Vergleichen wir diesen Prozess mit Pluto, so hat er einen Mond eingefangen, und sicher sind viele Plutinos auf ihn abgestürzt, die der Mond aus dem Entstehungsbereich mitgebracht hat. Seine Gravitation reicht aber nicht, um alle einzufangen. Erst wenn er weitere Monde eingefangen hätte, wäre seine Masse groß genug geworden, Gase aufnehmen zu können.

Mit der zunehmenden Masse nimmt seine Dichte wegen der Gravitation zu. Seine Abdrift und auch seine Inklination werden kleiner. Er entfernt sich nicht mehr vom Stern. Durch die druckbelastete Dichte wird seine Inklination kleiner und er nähert sich der Ekliptik und kann in einem geringeren Abstand vom Stern durch den Schutz der Gasscheibe Gase aufnehmen, weil er Sonnenwind keinen Einfluss auf die zentralen Regionen der Gasscheibe hat. Das liegt daran, dass die Gasdichte der cirkum-stellaren Scheibe zur Ekliptik hin zunimmt. Damit ist die Gasaufnahme abhängig von der Inklination eines Körpers. Die Inklination ist abhängig von der Dichte des Körpers. Je höher die Dichte, und hier spricht man von der druckbelasteten Dichte eines Körpers durch seine eigene Gravitation, umso kleiner ist die Inklination. Im letzten Sinne ist die Masse des Körpers oder des Planeten ausschlaggebend für seine Dichte.



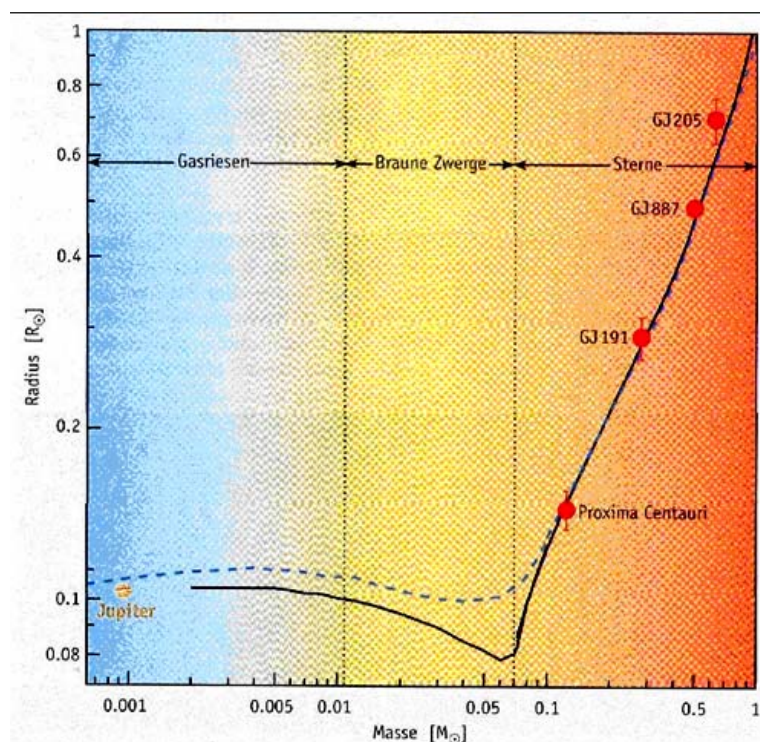
Grafik 7: Häufigkeit und Perioden der Exoplaneten ³⁷

³⁷ Die Grafik ist eine eigene Auswertung. Die Auswertung bezieht sich auf Tabelle 8

Im Schutz des Sonnenwindes nehmen sie Gase auf verlieren an Dichte und treiben damit wieder von der Sonne weg. So kann sich der nächste Körper in diese Position setzen und zum Gasplaneten werden. Es gibt demnach im Bezug zum Stern einen bestimmten Abstand, wo der werdende Gasplanet eine ganze Weile verweilt, bis er weiter vom Stern weggetrieben wird. Die Periode in der Gasplaneten verweilen, liegt ungefähr bei 4 Tagen. Exoplaneten zeigen bei dieser Periode eine große Häufigkeit (Grafik 7).

In der Entstehungsphase von Saturn und Jupiter ist der Verlauf anders, folgt aber dem gleichen Prinzip. Bei ihnen kommt die T-Taurikrise der Sonne zur Geltung (16.4.)³⁸. Sie wird kleiner, der Sonnenwind nimmt rapide ab, und damit nimmt als erstes Saturn früher Gase auf, und später folgt Jupiter. Ihre große Masse hat die Ursache in der T-Taurikrise. In dieser Phase bricht die Entstehungsbereich zusammen und bildet sich in der Nähe des Sterns von neuem. Damit bleiben sie auch in der Nähe des Sterns.

Nimmt ein Planet Gase auf, verliert er an Dichte und wandert aus der Position heraus, weil die Strömung der Gasscheibe wieder einen größeren Einfluss gewinnt. Rein theoretisch kann jedoch der Planet vor seiner Gasaufnahme eine kritische Masse erreichen, die so hoch ist, dass er sich selbst mit der Gasaufnahme nicht mehr vom Stern entfernt. Das liegt daran, dass Planeten nicht viel größer werden als Jupiter (siehe Grafik 8). Dadurch führte eine kritische Masse zu einer kritischen Mindestdichte. Nimmt die Dichte demnach wieder zu, weil er Gasplanet mehr Masse wird seine Abdrift wieder kleiner. Es führt immer dazu, dass ein Gasplanet sich irgendwann nicht mehr vom Stern entfernt.



Grafik 8: Durchmesser von Gasplaneten und Braunen Zwergen (5.33.)³⁹

³⁸ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Barth Verlag Heidelberg

T-Tauristerne sind beträchtlich größer als 2 aber kleiner als 50 Sonnenradien. S. 147

³⁹ Ab der Größe Jupiters werden Gasriesen nicht mehr größer. Bis hin zum Maximum der Masse eines Braunen Zwerges nimmt sie sogar noch etwas ab.

Sterne und Weltraum, 3-2003 - S. 16, Tilmann Althaus

Der Grund warum Exoplaneten in der Nähe des Sterns bleibt oder in einer zweiten Position bleiben, liegt vor allem darin, dass die Entwicklung des Sterns abbricht. Zudem kommt, dass es nur Planeten mit Eisenkern gelingt länger in der Nähe des Sterns zu bleiben. Das wäre ein Körper wie Jupiter, der aufgebaut ist, wie seine Monde. Das ist nur deswegen möglich, weil die Dichte von Anbeginn an größer war und damit auch weniger absank. Daher hätte er der Nähe des Sterns bleiben können.

Alle anderen Planeten wandern aus der Position in Sternnähe heraus und bieten damit dem nächsten Planeten die Möglichkeit Gasplanet zu werden. Bei den Jupitertypen ist es jedoch so, dass sie die T-Taurikrise erleben und damit zu früh den Nahbereich des Sterns verlassen. Damit verlieren auch sie die Möglichkeit zum Stern zu werden. Das ist jedoch nicht ausschließen, dass sie es schaffen. Unter den G-Sternen gibt es tatsächlich eine Anhäufung von Sternen, die es geschafft haben, dass sich ein Jupiter zum Stern entwickelt hat.

In unserem Sonnensystem ist es zum Beispiel einem Titan durch die T-Taurikrise gelungen zu früh Gase aufzunehmen. Das führte dazu, dass er den Körpers der Jupiterreihe entkam und Jupiter nur vier Monde einfiel. Wäre Titan nicht geflüchtet, wäre er der Jupiter geworden und das System hätte 5 Monde besessen. Damit hätte es eine höhere Dichte vor der Gasaufnahme erreicht und wäre zum Stern geworden. Damit wäre es auch in der Nähe des Sterns geblieben und die inneren Planeten wären zu Monden eines Titans geworden. Unser Sonnensystem hatte so eine ganz andere Struktur bekommen.

2.3.5. Prinzip der Gasaufnahme eines Planeten

Der Sonnenwind und die Rotation des Gases schaffen in einer abgeplatteten Gasscheibe eine bestimmte Linie auf beiden Seiten der Ekliptik. Diese Linie steht für eine bestimmte Inklination und damit für eine bestimmte Dichte. Überschreitet der Planet den Grenzbereich in Richtung der Ekliptik und ist unterhalb dieser Linie, muss er eine bestimmte Dichte erreicht haben. Diese Dichte erreicht er nur über die Masse und die Gravitation, die dazu führt dass seine druckbelastete Dichte mit der Masse immer größer wird. Unterhalb dieser Linie ist die Gasaufnahme möglich, weil der Sonnenwind keinen Einfluss hat. oberhalb dieser Linie werden die Gase vom Planeten abgeblasen, weil der Sonnenwind dort wirkt.

Diese Linie verschiebt sich mit dem steigenden Sonnenwind zur Ekliptik hin. Der Sonnenwind wird mit der Masse des Sterns immer größer. Das heißt, die erwartete druckbelastete Dichte eines Planeten muss vor der Gasaufnahme höher sein, wenn der Stern an Masse zunimmt. Das bedeutet, der Planet braucht eine immer größere Masse, um bei höherer Sternmasse Gase aufnehmen zu können.

Ist die Rotation der Gasscheibe hoch, plattet sie mehr ab, und die Linie wandert von der Ekliptik weg. Da die Rotation der Sterne zu den großen Sternmassen nicht mehr all zu stark zunimmt, plattet die Gasscheibe nicht stärker ab. Da der Sonnenwind mit zunehmender Sternmasse größer wird, wird damit die Planetenmasse größer, nähert sie sich der Ekliptik nähert, umso so höher muss die Masse und damit die Dichte des Planeten sein.

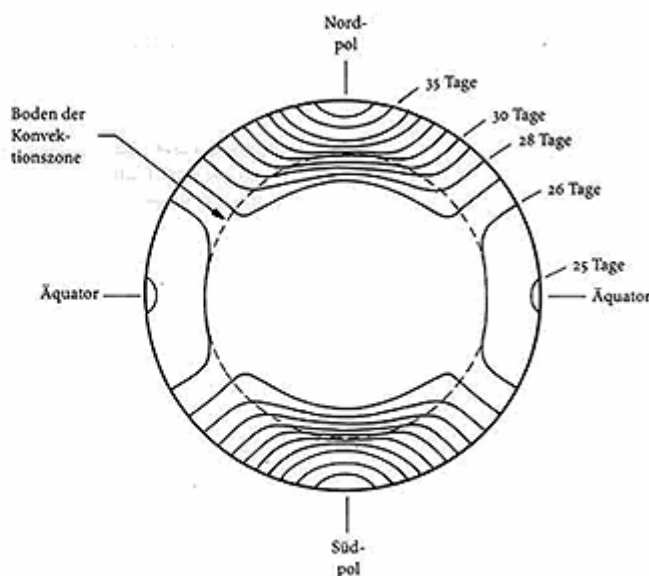
Diese Wechselwirkung und Rotation ist auch ein Garant für den Massengewinn des Sterns. Im unteren Bereich wird die Entwicklung durch die Reynoldszahl begrenzt. Unter einer bestimmten Rotation bricht sie mit einem Mal zusammen, und der Stern bläst alle Gase ab. Damit endet seine Entwicklung Schlagartig. Bei hohen Sternmassen wächst der Sonnenwind ständig, aber die Rotation hat eine Obergrenze. Das hängt mit der Viskosität des Gases zusammen. Daher gibt es eine Massenobergrenze bei Sternen.

2.4. Die Akkretionsscheibe bei der Planetenentstehung

2.4.1. Die Sternrotation und die Akkretionsscheibe

Da der wichtigste Abschnitt der Planetenentstehung in der Nähe eines Sterns abläuft, ist es wichtig zu wissen, wie die Strömungsverhältnisse zum Zeitpunkt der Sternentstehung ausgesehen haben. Sterne bilden bei ihrer Entstehung eine Akkretionsscheibe, und diese weist gegenüber der Rotation des Sterns innerhalb dieser Entwicklung eine höhere Geschwindigkeit auf. Es existiert demnach einmal die Rotation des Sterns und eine höhere Rotation seiner Akkretionsscheibe (16.3.)⁴⁰. Um das besser zu verstehen, muss man sich die Rotation der Sonne genauer anschauen.

Abb. 4.11. Differentielle Rotation im Sonneninneren. Anders als ein Festkörper wie die Erde dreht sich die sichtbare Oberfläche der Sonne (äußerer Kreis) nicht in allen Breiten, oder Entfernungen vom Äquator, mit derselben Geschwindigkeit. Diese differentielle Rotation zeigt sich im größten Teil der Konvektionszone, wo die Rotationsgeschwindigkeit nahezu unabhängig ist von der Tiefe. Der gesamte äußere Teil der Sonne rotiert also relativ langsam; die Gegend am Äquator braucht für eine volle Umdrehung etwa 25 Tage, die in Polnähe jedoch 35 Tage. Im Gegensatz hat jeder Punkt der festen Erde die gleichen Rotationsgeschwindigkeit, und die Tageslänge beträgt deshalb unabhängig von der Breite immer 24 Stunden. Das ist gut so, denn differentielle Rotation würde schließlich die Kontinente zerreißen. (Nach helioseismologischen Daten, die Kenneth Libbrecht am Big Bear Sonnenobservatorium erhielt)



Grafik 9: Differenzielle Rotation im Sonneninneren (36.1.)⁴¹

Die Strömungsverhältnisse der Sonne werden über ihre differentielle Rotation verständlich. Sie dreht sich am Äquator in 24,8 Tagen um sich selber. Auf dem 20. Breitengrad braucht sie 25,4 Tage, auf dem 40. Breitengrad sind es 26,7 Tage und auf dem 70. Breitengrad haben wir 31 Tage

⁴⁰ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Bath Verlag Heidelberg

Die Rotation der T-Tauristerne

S. 177

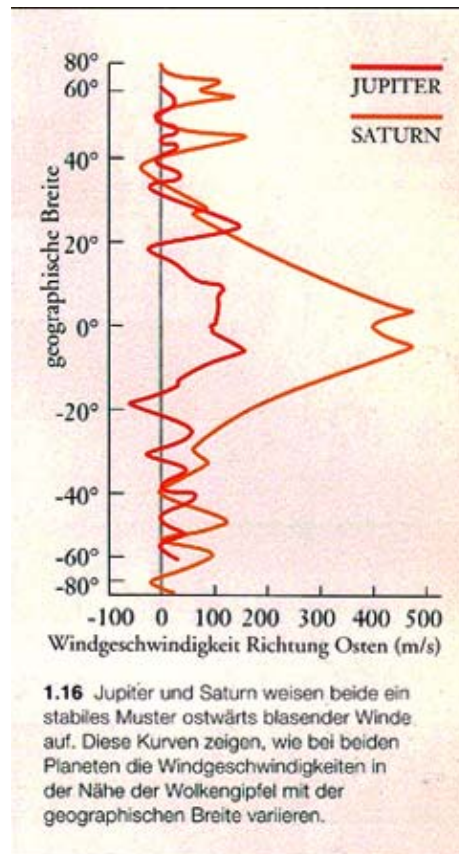
⁴¹ Prof. Kenneth R. Lang, „Die Sonne, Stern unserer Erde“ Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1995

Die differentielle Rotation der Sonne findet nur in der Konvektionszone statt.

Grafik, S. 69

(13.3.)⁴². Die Rotation nimmt vom Äquator bis in größere Breiten ab. Am Äquator existiert die höchste Rotation. Diese differentielle Rotation findet nur in den Konvektionszonen der Sonne statt (siehe Grafik 9). Daran erkennt man, dass die Akkretionsscheibe nur für eine bestimmte Phase existiert hat.

Dieses Prinzip existiert nicht nur bei der Sonne, sondern bei allen größeren Gaskörpern, wie auch bei Jupiter oder Saturn als eine differenzierte Rotation. (siehe Grafik 10) Im Bereich des Äquators haben auch sie eine höhere Rotation. Die Erklärung liegt in der Gasaufnahme. Die Aufnahme eines Gaskörpers findet da statt, wo die höchste Rotation existiert. Das ist am Äquator. Dort verdichtet sich das Gas und die Geschwindigkeit des Gases nimmt zu.



Grafik 10 : Gasrotation von Jupiter und Saturn (20.6.)⁴³

Bei der Entstehung der Sterne ist die Rotation wesentlich höher als in einer späteren Entwicklung. In der sternnahen Gasscheibe kann eine Geschwindigkeit von 300 km/s vorliegen, während der Stern 10-mal langsamer rotiert (16.3.)⁴⁴. Sicher existierte am Anfang einmal eine

⁴² Erik Wischnewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Die differentieller Rotation der Sonne. S. 61

⁴³ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995
Grafik, S.41

⁴⁴ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“ Johann Ambrosius Bath Verlag Heidelberg

synchrone Rotation, die später verloren ging. Es kam zu diesem Unterschied der Rotation. Hier könnte man die Frage stellen: Warum treibt diese Gasscheibe den Stern nicht an? Ich drehe die Betrachtung um, und komme zu der Frage: Was existiert in der Gasscheibe und bremst die Rotation des Sterns? Es existierte etwas, was einen höheren Einfluss hat als die Gasscheibe selber. Die Ursache des Rotationsverlustes kann nur in der Nähe des Sterns, also in der Gasscheibe selbst liegen, und es muss etwas mit Magnetismus zu tun haben, denn beim Auftreten der Sonnenflecken, die oberhalb und unterhalb des Sonnenäquators entstehen, fällt die Rotation ab. Nachdem die Sonnenflecken zum Beispiel 1977 ihr Maximum erreichten, fiel anschließend die Rotation der Sonne im Bereich von 10° bis 15° von 7600 km/h auf 7200 km/h (13.4.)⁴⁵.

Vergleicht man den Magnetismus der Sonne mit anderen Sternen so nimmt die Rotation zu den kühlen Sternen hin ab, aber der Magnetismus nimmt zu (10.6.)⁴⁶. Hier sollte man Ursache und Wirkung nicht vertauschen. Der Magnetismus ist die Ursache und der Rotationsverlust die Auswirkung. Die Ursache des Magnetismus muss wiederum in der umliegenden Gasscheibe liegen. Der Stern wird über den Magnetismus gebremst, während die Gasscheibe „nur“ über das Drehmoment des Sterns gebremst wird. Wenn etwas aus der Gasscheibe für den bremsenden Magnetismus sorgt, so ist diese Wirkung höher als die rückwirkende Bremsung des Sterns.

Die Geschwindigkeit der Gasscheibe um die Sonne war demnach in der Entstehungsphase 150-mal schneller als ihre Rotation heute. Die differenzierte Rotation war während der Entstehung der Sonne damit viel stärker ausgeprägt. Die Geschwindigkeit und auch die Dichte nahmen zum Äquator hin stark zu.

In dieser Region hatte der Sonnenwind keinen Einfluss, weil die Gase dort zu dicht waren. Damit weist der Stern in seiner frühen Entwicklung an der Oberfläche unterschiedliche Strukturen auf.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die T-Tauristerne, so könnte man annehmen, sie nähmen in dieser frühen Phase nur Gase auf. Das ist falsch. Sie machen beides. Sie nehmen Gase auf und sie geben im gleichen Zuge Gase ab (29.1.)⁴⁷. Bei einer homogenen Gasstruktur ist das nicht

Rotationen im T-Tauristern. Bahngeschwindigkeit der Scheibenmaterie in der Nähe der Sternoberfläche: 300 km/s. Rotationsgeschwindigkeit der Oberfläche des Sterns eine Größenordnung kleiner ist.

S. 177

⁴⁵ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Die Rotation der Sonne und ihre Sonnenflecken.

S. 62

⁴⁶ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“, Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Der Sternmagnetismus der Chromosphären nimmt zu den kühleren Zwergsternen zu und die Rotation nimmt ab. Der typische G-Stern rotiert mit 5 km/s (dies im Gegensatz zur Sonne, die nur mit 2 km/s rotiert), der K-Stern mit 2 km/s und der M-Stern mit 1 km/s.

S. 172 ff

⁴⁷ Prof. Dr. Helmut Scheffler, Landessternwarte Heidelberg-Königsstuhl, Prof. Dr. Hans Elsässer: „Physik der Sterne und der Sonne“, Max-Planck-Institut für Astronomie Heidelberg, Wissenschaftsverlag Mannheim-Wien-Zürich, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage 1990

Von T-Tauristernen kann man von Massenverlusten ausgehen, die von $10 \text{ hoch minus } 8$ bis $10 \text{ hoch minus } 7$ Sonnenmassen pro Jahr ausmachen.

S. 206

möglich. Dort könnte man nur sagen, der Sonnenwind sei so stark, dass er eine Gasaufnahme nicht zulässt oder er ist so schwach, dass diese Gasaufnahme möglich ist. Es gäbe nur ein Ja oder Nein. Da es beides gibt, müssen unterschiedliche Strömungsstrukturen an der Sternoberfläche herrschen.

Wie diese Struktur aussieht, zeigen uns die T-Tauristerne selbst. Sie geben die Gase über die Pole ab. Es kann auch dazu führen, dass die Herbig-Haro-Objekte über den Polen Gase in zwei gegenläufigen Jets bilden (2.4.)⁴⁸. Auch hier wird die Gasaufnahme nur über die Rotationsebene funktionieren. Das überflüssige Gas schießt über die Pole eines jungen Sterns hinweg.

Der wohl massenreichste Stern in unserer Milchstraße, Eta Carinae, hat eine außergewöhnlich hohe Rotation. Er gibt größte Mengen Gase in zwei Keulen über den Polen ab, aber genau auf der Rotationsebene ist der Raum leer (26.1.)⁴⁹. Das Gas kann dort nicht vom Stern entweichen. Auch hier zeigt sich: diesen Bereich kann der Sonnenwind nicht durchdringen.

Die Schlussfolgerung lautet: damit ein Stern Gase aufnehmen kann, muss er seine Rotation mit zunehmender Masse ständig erhöhen. Nur über die Verdichtung des Gases durch hohe Geschwindigkeiten kann er dem Sonnenwind etwas entgegensetzen. Verliert ein Stern die Rotation, sind seine Gasaufnahme und damit auch seine Entwicklung beendet.

2.4.2. Die Abplattung der Akkretionsscheibe

Wenn man in der Betrachtung bleibt, die Körper seien hintereinander entstanden, wären die Körper des Kuiper-Gürtels die früheste Entwicklung von Körpern im Sonnensystem. Wenn wir davon ausgehen, dass die Exzentrizität kleinerer Körper Ausdruck ihrer Dichte ist, so könnte man vom Kuiper-Gürtel annehmen, dass die Entstehung von Körpern mit einem Mal einsetzt. Die kleinen Halbachsen der Körper liegen alle im Bereich bis 47 AE (siehe Grafik 17) (5.31.)⁵⁰.

Das bedeutet, ab einer bestimmten Rotation, damit verbindet sich eine bestimmte Geschwindigkeit des Gases (5.61.)⁵¹, setzt die Abplattung der Gasscheibe plötzlich ein (siehe Grafik

⁴⁸ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Herbig-Haro-Objekte (H-H-Objekte)

S. 95 ff

⁴⁹Süddeutsche Zeitung

Eta Carinae ist ein Stern mit 100 Sonnenmassen und hat eine sehr hohe Rotation. Der Gasauswurf geht über die Pole. Die Rotationsebene ist frei von Gasen. – Verantwortlich: Dr. Patrick Illinger

Zeitung Nr. 296 - S. 11, 24.12.2003,

⁵⁰ Der Aufbau des Kuiper-Gürtels zeigt, dass die Entstehung größerer Körper um die Sonne in einem bestimmten Abstand, nämlich ab 47 bis 48 AE plötzlich beginnt. Ab 41 AE gibt es keine Körper mehr, die eine Kreisbahn vorweisen. Das wäre im Bereich der Plutinos. Hierzu gibt es zwei Graphiken.

Sterne und Weltraum, 1/2003 / S. 21 f, Tilmann Althaus

⁵¹ Jede Strömung wird dann turbulent, wenn sie ein bestimmtes Maß an Reibung, Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsstärke erreicht. Dieser erreichte kritische Wert wird mit einer Reynolds-Zahl beschrieben. Diese Turbulenz tritt mit einem Mal auf.

Sterne und Weltraum Spezial 1-2003 - S. 89

11). Da kommt die Reynoldszahl des Gases zu Geltung. In dieser Gasscheibe werden die kondensierten Körper in zwei Bereiche getrennt und können sie erst dann durchdringen, wenn sie eine bestimmte Masse erreichen. Durch diese Scheibe entsteht damit ein Stau, der die Körper zwingt, größer zu werden. Das werden viele Körper nicht schaffen, weil die Sonne noch so kühl ist und der Entstehungsbereich sehr nahe an Stern liegt. Damit stürzen sie in den Stern.

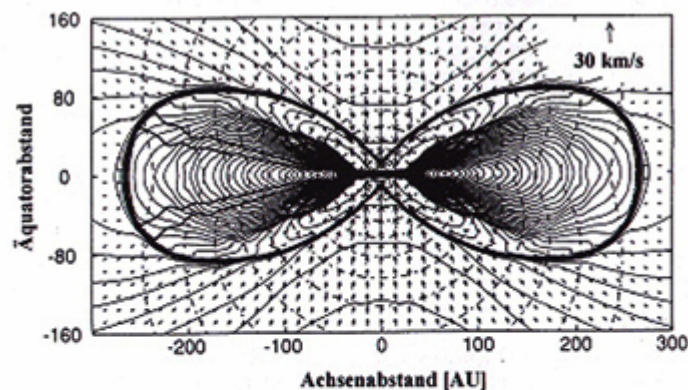


Abbildung 5.6: Struktur einer kollabierenden Gaswolke von 10 Sonnenmassen nach 7074 Jahren, gesehen von der Kante der sich im Inneren bildenden Scheibe (nach Yorke, Bodenheimer und Laughlin 1995). Im Zentrum hat sich eine Masse von $2.7 M_{\odot}$ geformt. Die Pfeile bezeichnen die lokalen hydrodynamischen Strömungsgeschwindigkeiten, wobei die Länge der Vektoren am rechten oberen Bildrand skaliert sind. Die durchgezogenen Linien sind sogenannte Isodensiten, also Linien gleicher Materiedichte. Deutlich ist eine äußere Schockfront sowie im Inneren die Bildung einer massiven *protostellaren* Akkretionsscheibe zu sehen. Nähere Erläuterungen im Text.

Grafik 11: Kollabierende Gaswolke. (2.12)⁵²

Übertragen wir den Kuiper-Gürtel auf die Entwicklungsphase unserer Sonne, so setzt ab einer bestimmten Rotation, was auch für eine bestimmte Temperatur des Sterns spricht, der Bewurf mit größeren Objekten ein. Dies müsste sich direkt auf die Oberflächen von Sternen auswirken.

Tatsächlich stellen wir bei den kühlestern fest, dass an den M5-Sternen die Konvektionszonen mit entsprechendem Magnetismus mit einem Mal entstehen (10.5.)⁵³. Damit wäre die Ursache für das Entstehen der Konvektionszonen der Absturz größerer Körper in einen Stern gegeben (14.3.)⁵⁴. Der Magnetismus erklärt sich, weil die Körper beim Durchdringen der Gasscheibe

⁵² Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Grafik zur kollabierenden Gaswolke

S. 150

⁵³ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Tätigkeit der Chromosphären und Koronen und damit auch der Magnetismus (Sonnenfleckentätigkeit) nimmt von den späten A-Sternen (kühle A-Sterne) bis hin zu den M5-Sternen zu, und bricht dann mit einem Mal ab.

S. 174

⁵⁴ James B. Kaler „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

zu rotieren beginnen und auf Grund ihrer metallhaltigen Zusammensetzung ein Magnetfeld entwickeln. Dieses stürzt mit dem Körper in den Stern und damit überträgt sich dieser Magnetismus auf die Sternoberfläche und dringt danach in tiefere Schichten ein. Es ist damit nicht verwunderlich, dass nur in der Konvektionszone die differenzielle Rotation der Sonne zu finden ist. Nur da existierte eine Akkretionsscheibe.

Das Wesentliche für die Betrachtungen liegt darin, dass wir es hier wieder mit einem Bindeglied zwischen Planetenentstehung und Sternentwicklung zu tun haben könnten.

Die Abplattung ist einmal abhängig von der Rotation zum anderen aber auch abhängig von der Masse des Sterns. Ist die Masse des Sterns sehr hoch, konzentriert sich die Masse stark auf das Zentrum. Das führt wiederum dazu, dass die wirkende Kraft auf Die Abplattung mit der steigenden Masse des Sterns größer wird. Wenn demnach die Rotation ab den A-Sternen kaum mehr steigt, so nimmt jedoch die Abplattung auf die Gasscheibe mit der Masse des Sterns zu.

2.4.3. Das Ende der Akkretionsscheibe

Wenn die Akkretionsscheibe ab einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit mit einem Mal abplattet, so muss sie in umgekehrter Richtung auch mit einem Mal zusammenbrechen. Das bedeutet für die Planetenentstehung, dass sie mit einem Mal beendet ist, wenn die Akkretionsscheibe eine bestimmte Rotationsgeschwindigkeit verliert. Die Bildung der Körper hört mit einem Mal auf. Damit klingt die Körperbildung nicht langsam aus. Wäre das so, müssten im inneren Sonnensystem die Körper zur Sonne hin langsam kleiner werden. Das ist nicht der Fall. Das spricht für dieses abrupte Ende (5.31.)⁵⁵.

Der zweite Aspekt liegt darin, dass unter einer bestimmten Rotation die Sternentwicklung mit einem Mal zusammenbricht. Damit ist die Gasaufnahme wegen des zunehmenden Sonnenwindes sofort beendet. Das bedeutet, kühle Sterne, die diese Rotation einmal unterschritten haben, beenden ihre Weiterentwicklung. Weil es diese absolute Untergrenze der Rotation gibt, existiert auch eine Temperaturgrenze, ab welcher der Stern heiß genug ist, oder in dem Sinne früh genug die Temperatur erreicht, ab der sich der Entstehungsbereich der Körper vom Stern trennt. Damit verstärkt sich die Rotation schlagartig ab einer bestimmten Sterntemperatur (5.8.)⁵⁶.

Zitat: „Wenn Stellartheoretiker einen letzten Wunsch frei hätten, dann würden sie sich vermutlich eine exakte Theorie der Konvektion wünschen.“

S. 192

⁵⁵ Der Aufbau des Kuiper-Gürtels zeigt, dass die Entstehung größerer Körper um die Sonne in einem bestimmten Abstand, nämlich ab 47 bis 48 AE plötzlich beginnt. Ab 41 AE gibt es keine Körper mehr, die eine Kreisbahn vorweisen. Das wäre im Bereich der Plutinos. Hierzu gibt es zwei Graphiken.

Sterne und Weltraum, 1-2003 - S. 21 f, Tilmann Althaus

⁵⁶ Rotation und Temperatur von 3 Jungsternhaufen verschiedenen Alters im HRD. Die Rotation steigt bei 6300 Kelvin mit einem Mal sehr stark an.

Sterne und Weltraum, 7-1998 - S. 626

2.4.4. Definition und Funktion der Gasscheibe

Die Akkretionsscheibe ist das gesamte Gasgebilde, das einen Stern umgibt. In dieser Beschreibung zur Planetenentstehung ist jedoch die Kernregion der Gasscheibe von zentraler Bedeutung, die nur auf der Rotationsebene eines Sterns zu finden ist. Ich spreche von der abgeplatteten Gasscheibe, die sich zur Ekliptik verdichtet. Es ist demnach nur der innere Teil einer Akkretionsscheibe.

In den letzten Betrachtungen ging es um die Funktion der inneren Gasscheibe im Bezug auf den Stern. Die Funktionen im Bezug auf die Körperbildung sind jedoch noch vielseitiger. Diese Scheibe trennt Körper nach der Kondensation auf zwei Ebenen „oberhalb und unterhalb“ der Ekliptik. Aus diesem Grunde findet man die Sonnenflecken in ganz bestimmten Abständen auf beiden Seiten des Äquators. Die Gasscheibe ist in der Lage Gestein und Eisen kurz nach der Kondensation zu trennen. Daher existieren unterschiedliche Chondren aus Silikaten und Eisennickel (4.8.)⁵⁷. Die Gasscheibe führt dazu, dass sich Körper bis zu einer bestimmten Größe und Masse auf beiden Seiten der Ekliptik stauen. Sie ist in der Lage Körpern die Rotation beizubringen. Mondgroße Körper hält sie der Dichte entsprechend in bestimmte Inklinationen. Sie bestimmt allgemein die Exzentrizität aller Körper. Die Gasscheibe ist in der Lage, die Mondsysteme um den Planeten zu drehen. Als letztes bietet sie den Schutz massenreicherer Körper vor dem Sonnenwind. Auf diese Weise sind Planeten in der Lage, in der Nähe eines Sterns Gase aufzunehmen. Für die weitere Entwicklung eines Planeten zum Stern, ist das von zentraler Bedeutung. Man kann hier schon erkennen, dass die Bedeutung dieser zentralen Gasscheibe elementar ist, weil sie so viele Funktionen erfüllt.

⁵⁷ Argyris Sfountouris: "Kometen - Meteore - Meteoriten" Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich, 1986. Hier sind in einem Foto Chondren aus Metallsulfiden (Eisen und Nickel) abgebildet. Es gibt demnach Tropfen aus Eisen und Nickel, die zu einem Meteoriten zusammen finden.

2.5. Trennungungsverfahren in der Gasscheibe

2.5.1. Entwicklungsstufen

Innerhalb der Akkretionsscheibe spielen sich sehr viele Prozesse bei der Entwicklung der Körper ab. Um diese besser beschreiben zu können, muss man sie in all ihre Entwicklungsstufen unterteilen.

Über die Kondensation entstehen Körper und setzen sich auf bestimmten Ebenen oberhalb und unterhalb der Ekliptik ab. Substanzen werden innerhalb der Gasscheibe ihrer Dichte nach getrennt. Das wäre die Bildung der Chondren.

Die Gasscheibe wirkt nun als Stau für diese kleinen Körper. Sie müssen die Strömung durchdringen. Um das zu können, müssen sie eine bestimmte Masse erreichen. Die erste Entwicklungsstufe betrachtet nur die Phase, bevor Körper die Gasscheibe durchdrungen haben. Das ist die Entwicklungsphase der Meteoriten.

Wenn sie die Gasscheibe durchdringen, sind sie auf eine Größe von etwa einem Kilometer Durchmesser geeicht. Sie müssen einem bestimmten Druck standhalten, und das geht nur über die Masse eines Körpers. Die Dichte spielt auch eine Rolle. Je höher sie ist, umso kleiner ist der Körper beim ersten Durchdringen der Gasscheibe auf der Ekliptik.

Die Dichte der Körper, oder man kann auch sagen, die Dichte einer bestimmten Klasse, bestimmt auch die grundlegende Exzentrizität der Klasse der Asteroiden und deren Inklination. Kometen nehmen eine besondere Stellung ein. Sie haben eine Dichte von ca. $0,2 \text{ g/cm}^3$. Damit fallen sie als Körper aus der Reihe. Diese haben eine wesentlich größere Masse beim ersten Durchdringen der Gasscheibe. Zudem findet man bei ihnen die Anomalie des Wassers. Wasser dehnt sich an 4° Celsius aus. Daher wird die Abdrift größer während sie bei allen anderen Körpern kleiner wird.

Die einzelnen Klassen der Asteroiden bilden die Grundlage für die unterschiedlichen Arten von Körpern. Monde und Planeten sind erst einmal gleichwertig und setzen sich aus den Klassen zusammen.

In der nächsten Entwicklungsstufe wachsen die Körper zur Größe eines Mondes heran. Auch in dieser Stufe wirkt die Gasscheibe, aber auch die Periheldrehung bestimmt die Entwicklung dieser Körper und führt zum Zusammentreffen von kleinen Körpern mit größeren Körpern. Die Periheldrehung ist um 90° gegenüber der Abdrift versetzt. Die Inklinationen der einzelnen Klassen sind ähnlich. Die periheldrehung führt sie in ähnliche Bahnen. Zudem wirkt die Reibung auf die Körper in gleichen Bahnen, Kleinere Körper treiben zu größeren Körpern.

Es bilden sich in der gesamten Phase zwei ähnlich große Körper (Monde) heraus. Diese sind Mischungen aus den drei wesentlichen Klassen der Asteroiden.

In der nächsten Stufe fangen sich die beiden ähnlich großen Körper ein. Diese fangen mehrere Körper ein und einer setzt sich als Hauptkörper durch. Die Gasscheibe regelt die Mindestgröße der Monde beim ersten eingefangenen Mond. Sie bewirkt zudem die Drehung der Mondsysteme. In der Zeit gewinnt der Planet enorm an Masse und verliert an Abdrift. Er entfernt sich kaum mehr vom Stern. Diese Position kann man recht gut bei den Exoplaneten verfolgen. Hier findet man eine besonders große Anhäufung von Umlaufzeiten mit 4 Tagen.

Die Gasaufnahme des Planeten erreicht er über eine besonders hohe Masse. Diese führt zu einer hohen Dichte. Das ergibt eine kleinere Inklination mit der er in den Schutz der Gasscheibe vor dem Sonnenwind gelangt. Somit kann der Planet Gase aufnehmen. Damit nimmt die Dichte des Planeten ab. Er wandert aus der Position heraus und ein anderer Körper setzt sich in diese Position und wird zum Gasplaneten.

Die Entwicklung des Gasplaneten zum Stern kann weiter gehen. Das wird jedoch erst im Thema der Exoplaneten angeschnitten und richtig im Thema der Doppelsterne besprochen.

So hat man in Kürze die Entwicklungsphasen beschrieben. Dieses Kapitel beginnt mit der Kondensation, also der ersten Entwicklungsphase, bis die Gasscheibe die Körper trennt und auf bestimmte Ebenen bringt. Es wäre die Phase der Bildung der Chondren und Meteoriten.

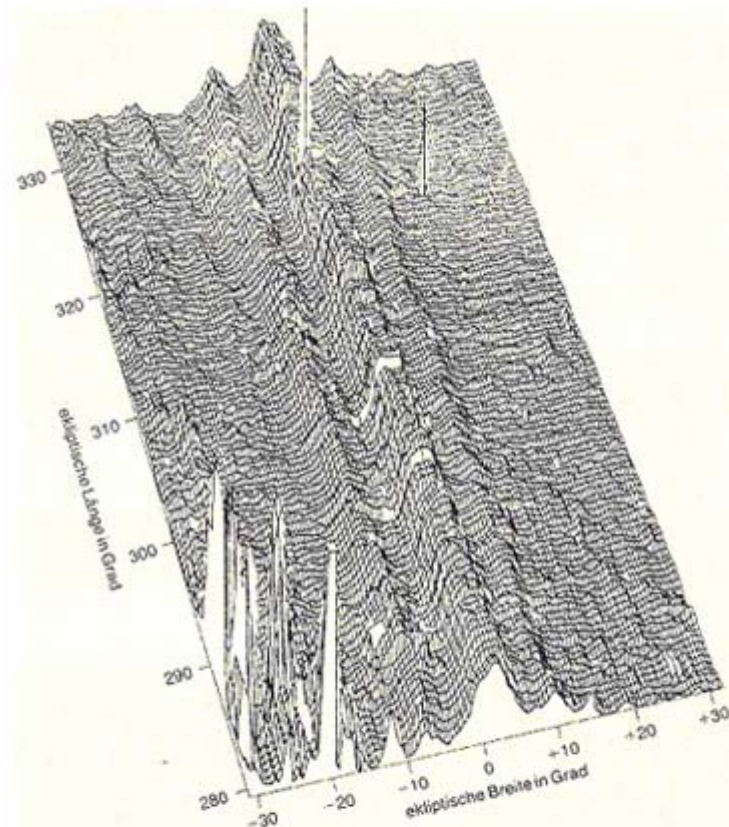


Bild 7: Die Staubbänder im Sonnensystem sind klar voneinander getrennt; sie bestehen aus Material, das die Sonne in der Entfernung des Asteroidengürtels (zwischen Mars und Jupiter) umkreist. Die Graphik zeigt die Intensität der Strahlung, die im 60-Mikrometerband empfangen wurde, als Funktion der ecliptischen Länge und Breite. Der Grat in der Mitte zeigt einen Staubring in der Ekliptik an, der von zermahlenen Asteroiden herrühren könnte. Die beiden Grate links und rechts davon lassen sich nicht so leicht erklären; sie deuten Staubteilchen in einer um 9 Grad gegen die Ekliptik geneigten Bahn an. Möglicherweise handelt es sich um Material aus dem Zusammenstoß eines Kometen mit einem Asteroiden. Die Partikel sind anscheinend relativ groß und bestehen vorwiegend wohl aus Silicaten.

Grafik 12: Staubbänder im Asteroidengürtel (11.1.)⁵⁸.

2.5.2. Das Prinzip der Körperbildung

Nach meinen Überlegungen ist das Prinzip, wonach sich Körper um einen Stern bilden die Kondensation. Das würde bedeuten, Körper entstehen nach ihren unterschiedlichen Kondensationstemperaturen in bestimmten Abständen zum Stern. Was diese Annahme stützt, ist die Struktur des Asteroidengürtels (Grafik 5). Mit größerem Abstand von der Sonne haben die vorhandenen Körper eine geringere Kondensationstemperatur. - Was dieser Überlegung ebenfalls Recht geben könnte, ist die Herkunft der Meteoriten. Sie kommen alle aus dieser Region des

⁵⁸ Harm J. Habing, Gerry Neugebauer: „Der Infrarot Himmel“ Spektrum der Wissenschaft Verständliche Forschung Heidelberg 1986 - Staubbänder im Asteroidengürtel, S. 39 f

Asteroidengürtels und weisen zum Teil Arten auf, die der Urzusammensetzung gerade entstandener Körper entsprechen (19.5.)⁵⁹.

Das zweite Verfahren der Körperbildung liegt in der Trennung der Körper nach ihrer Dichte. Hier wirkt die Verdichtung der Gasscheibe zur Rotationsebene um einen Stern. Körper trennen sich auf beiden Seiten der Gasscheibe und nehmen entsprechend ihrer Dichte bestimmte Abstände zur Rotationsebene oder der Ekliptik des Sterns an.

Was dieses Prinzip unterstützt, ist der ähnliche Kondensationspunkt und die ähnliche Dichte von Eisen und Nickel (31.1.)⁶⁰. (siehe Tabelle 7) Sie können nicht getrennt werden und treten daher nur gemeinsam auf. Genau das zeigen die Meteoriten. Eisenmeteorite oder Nickelmeteorite gibt es in reiner Form nicht. Was die Trennung in bestimmte Abstände zur Ekliptik unterstützt, sind einmal Staubbänder im Bereich der Asteroiden (siehe Grafik 12) und die Sonnenflecken, die in bestimmten Abständen zum Äquator auftreten.

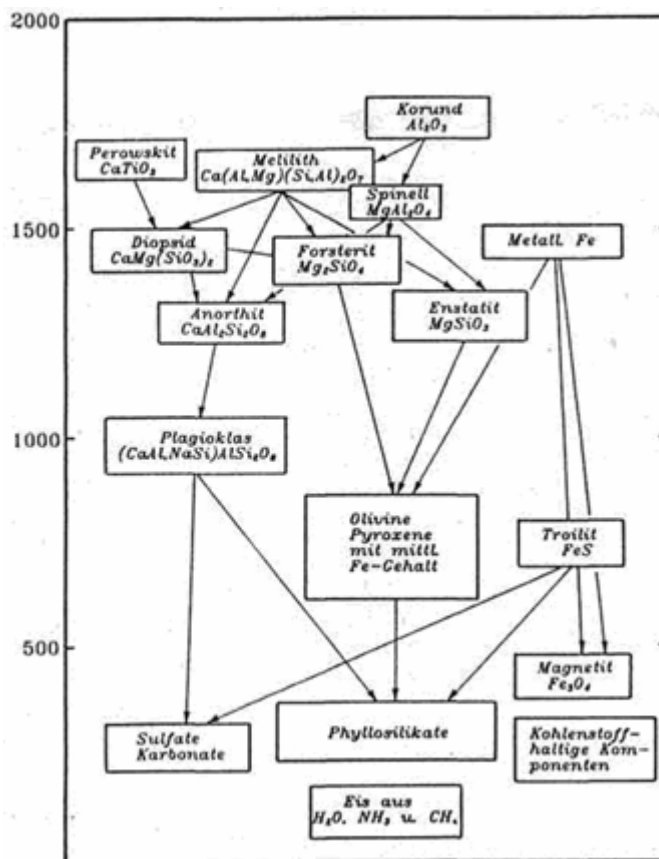


Abb. 13.6: Vereinfachte Darstellung für die Abfolge der Kondensation in einem abkühlenden Sonnennebel. Die eingezeichneten Pfeile zeigen die spätere Umwandlung bei niedrigeren Temperaturen von schon kondensierten Verbindungen. Würde chemisches Gleichgewicht während der ganzen Abkühlzeit herrschen, dann könnten die Hochtemperaturkondensate heute in Meteoriten nicht mehr gefunden werden. Ihr Auftreten in manchen Meteoriten zeigt, daß sie frühzeitig aus dem Sonnennebel vor weiterer Einwirkung bewahrt blieben.

Grafik 13: Kondensationstemperaturen verschiedener Mineralien (19.16.)⁶¹

⁵⁹ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Meteoriten kommen nach Berechnungen ihrer Bahnen aus dem Asteroidengürtel. - S. 98

⁶⁰ G. O. Müller „Lehrbuch der angewandten Chemie“ Band II –3. Auflage - S. Hirzel Verlag Leipzig 1988

Daten zu den Elementen. (Elementkonstanten)

S. 516 ff

⁶¹ Ludolf Schulz: „Planetologie eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

2.5.3. Klassen der Körperbildung

Aufgrund unterschiedlicher Kondensationstemperatur sowie unterschiedlicher Dichte entstehen vier Klassen von Körpern. Sie bestehen aus schwerem Gestein, Eisen, leichtem Gestein und Eis. Die ersten drei Klassen sind im Asteroidengürtel zu finden. Sie werden benannt mit der E-, M-, und C-Klasse (siehe Grafik 5) (7.4.)⁶². Die Meteoriten weisen ähnliche Klassen auf. Die E-Klasse besteht in ihrer äußeren Schicht aus Enstatit. Der Kondensationspunkt liegt etwas unterhalb von Eisen und Nickel. Nach meinen Überlegungen ist das die äußere Schicht der Gesteinskörper, die in tieferen Schichten aus Korund, Melilith und Spinell bestehen (siehe Grafik 13). All diese Gesteinsarten haben eine höhere Kondensationstemperatur als Eisen und Nickel. Daher stehen sie der Sonne näher.

Die vierte Klasse sind die Kometen. Diese Klassen entwickeln sich erst einmal getrennt, weil sie sich spezifisch ihrer Dichte und ihrer Kondensation in einer eigenen Region aufhalten oder spezifisch ihrer Dichte eine eigene Inklination aufweisen.

Körper aus der inneren Region wandern durch äußere Regionen und sammeln die Körper anderer Klassen ein und bilden demnach Schichten, die nach ihrer Dichte und Kondensation getrennt sind. Aus der Dichte des Kerns wird die Körpergröße abgeleitet.

Die Dichte der Körper entscheidet über die Inklination. Diese wird größer, je geringer die Dichte ist. Der Abstand zur Ekliptik wird mit geringerer Dichte größer, und daraus ergibt sich die höhere Inklination. Diese geht jedoch bei großen Körpern verloren, weil die Gasscheibe verschwindet. Sie werden zum großen Teil als Monde eingefangen und Planeten neigen sich wegen der später steigenden Dichte wieder zur Ekliptik. Die einzigen Körper deren Inklination erhalten bleibt, sind die Körper im äußeren Sonnensystem und die Kometen. Die Begründung liegt darin, dass vor ihnen keine größeren Körper entstanden sind. Die Erklärung für die Kometen lautet, dass sie sich so schnell von der Sonne entfernt haben.

Die Exzentrizität wird ebenfalls über die Dichte bestimmt. Körper geringerer Dichte werden beim Eintauchen in die Gasscheibe stärker gebremst und nähern sich mehr dem Stern, wenn sie die Gasscheibe auf der Ekliptik durchdringen. Die Exzentrizität nimmt mit der Masse ab. Sie lassen sich dann von der Strömung der Gasscheibe nicht mehr so stark beeinflussen. Die Exzentrizität ist wiederum bei den äußeren Körpern im Sonnensystem besonders gut erhalten und bei den Kometen ebenfalls. Im inneren Sonnensystem erkennt man noch die Tendenz von Masse und Exzentrizität.

2.5.4. Trennung der Substanzen, Inklination und Rotation

Damit nun Substanzen kondensieren, brauchen sie nicht nur eine spezielle Temperatur, sondern eine spezifische Dichte des Gases. In der Gasscheibe herrscht in einem bestimmten Abstand vom Stern eine bestimmte Temperatur und Gasdichte und die Geschwindigkeit nimmt zur Ekliptik hin zu. Die Kondensation findet daher am ehesten in der Nähe der Ekliptik statt. Dort bilden sich die meisten Tropfen. Sicher bilden sich auch in größeren Abständen Tropfen, aber in geringerer Zahl.

Die Kondensation im abkühlenden Sonnennebel. Eisen liegt bei etwa 1500 Kelvin, und Enstatit bei etwa 1400 Kelvin. Korund, Melilith und Spinell liegen in der Kondensation oberhalb des Eisens. –

S. 235

⁶² Prof. Kenneth R. Lang und Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Cambridge University Press 1991

Unterteilung verschiedener Arten der Asteroiden, ihre Verteilung im Asteroidengürtel. Textquelle: Jonathan Gradie und Edward Tedesco: Science 216, 1405 (1982) S. 211

Sobald Tropfen entstehen, haben wir es mit zwei Geschwindigkeitsvektoren zu tun. Der eine weist direkt zum Stern, der zweite entspricht der Geschwindigkeit des Gases.

Hier kommt aber noch die dritte Bewegungskomponente dazu. Die Tropfen bewegen sich aus der starken Strömung in der Nähe der Ekliptik heraus. Es ist in diesem Sinne keine Auftriebskraft. Es ist eine Bewegung, die durch Reibung bedingt den Weg des geringsten Widerstandes sucht.

Die Tropfen bewegen sich damit von der Ekliptik weg in Regionen geringerer Gasdichte oberhalb und unterhalb der Ekliptik. Hier werden Tropfen gleicher Art in zwei Bereiche geteilt.

Dieser Reibungswiderstand tritt ein, wenn die Tropfen entstehen und durch den freien Fall eine Eigenbewegung gegenüber dem Gasstrom entwickeln. Diese Reibungskraft wird mit der Beschleunigung immer größer. Der Tropfen beschleunigt so lange, bis die Reibungskraft so groß wird, wie die Anziehungskraft. Je geringer die Dichte eines Tropfens ist, umso größer ist die Reibungskraft, die auf seine Oberfläche wirkt. Der Tropfen aus Eisen hätte im ersten Vektor eine höhere Geschwindigkeit erreicht als der Tropfen aus Gestein. Nachdem beide die Beschleunigungsphase hinter sich haben, ist die resultierende Geschwindigkeit beider Vektoren beim Eisen höher als beim Gestein. Bevor die Tropfen aus dem dichten Gas der Gasscheibe auftauchen, haben Eisen- und Gesteinstropfen schon unterschiedliche Geschwindigkeiten. Das Trennungsverfahren beginnt demnach schon in dieser ersten Phase.

Entfernen sich nun die Tropfen von der Ekliptik, nimmt der Geschwindigkeitsvektor der direkt zum Stern führt zu. Da Eisentropfen die höhere resultierende Geschwindigkeit haben, erreichen sie eher die Bahngeschwindigkeit als Gestein. Ist diese Geschwindigkeit erreicht, werden sie sich nicht weiter von der Ekliptik entfernen. Körper höherer Dichte nehmen dadurch einen geringeren Abstand zur Ekliptik ein als geringerer Dichte. So trennen sich demnach Eisen und Gestein.

Mit abnehmender Dichte erreicht ein Körper einen größeren Abstand zur Ekliptik. Dieser Abstand bestimmt seine Inklination. Deswegen haben Kometen eine so hohe Inklination. Die Dichte eines Körpers verhält sich damit umgekehrt proportional zu seiner Inklination.

Diese Trennung innerhalb des Gasstroms erklärt auch, warum schon in der frühesten Phase der Körperentstehung, also bei den Chondren, eine getrennte Entwicklung nach der Dichte möglich ist, aber auch, wie bei Eisen und Gestein Mischformen entstehen. Zudem werden Chondren überhaupt erklärt. Sie sind aufsteigende Tropfen aus der Gasscheibe.

In der weiteren Entwicklung werden die Körper und speziell der Planet einmal viel größer und erreichen über die eigene Gravitation eine sehr hohe Dichte. Diese Dichte ist immer auf die Inklination ausgerichtet. Je größer die Masse des Planeten, umso kleiner ist auch seine Inklination.

2.5.5. Grenzwerte der Tropfenbildung bei Eisen und Nickel

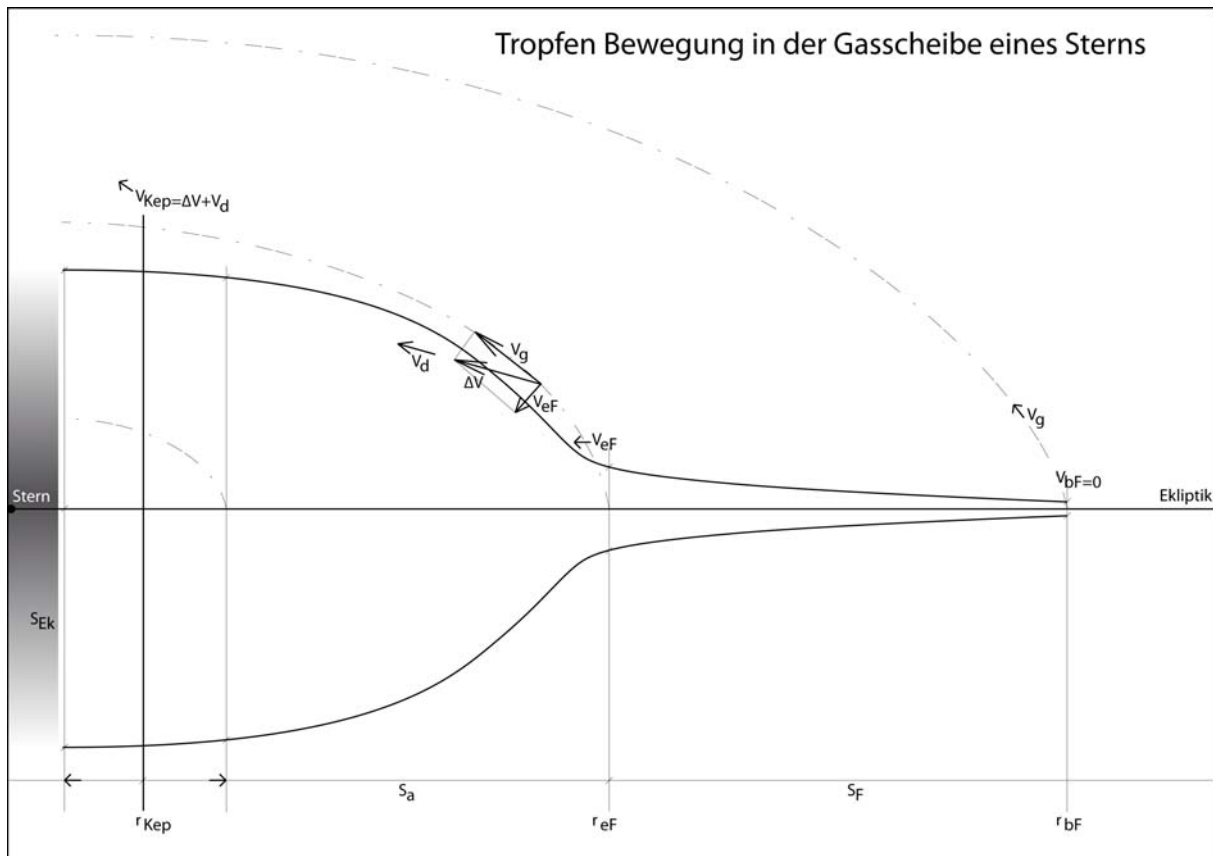
Wenn man die Kondensation von Körpern näher beschreibt, so ist der Kondensationspunkt auf einen bestimmten Radius um den Stern festgelegt. Demnach muss man diesen Begriff auch festlegen. Für jedes Element und für jedes Molekül gibt es diesen Kondensationsradius. Der Kondensationsradius von Eisen wäre kleiner als der von Nickel, weil Eisen bei einer höheren Temperatur zur Schmelze kommt. Da aber Nickel die größere Dichte hat, ist der Abstand der Ebene zur Ekliptik auf der sich Nickel absetzt kleiner als beim Eisen. Das bedeutet Eisen wird diese Ebene auf der sich Nickel absetzt durchdringen. Dadurch sammelt er den Anteil an Nickel. Hinzu kommt noch eines. Nickel hat eine höhere Dichte. Damit beschleunigt er auf eine höhere Geschwindigkeit, bis die Reibungskraft die Anziehungskraft ausgleicht. Bis diesem Wert einer konstanten Geschwindigkeit hat Nickel auch eine längere Strecke zurückgelegt als Eisen.

Die ist aber nur einer von zwei Vektoren, der direkt auf Stern ausgerichtet ist. Damit hat sich Nickel dem Eisen noch genähert. Demnach muss man noch einen zweiten Radius festlegen. Das beschreibt der Radius nach dem Erreichen der konstanten Geschwindigkeit, also am Ende der Beschleunigungsphase.

Während der Beschleunigung wird ein Weg zurückgelegt, der länger wird, wenn die Dichte höher ist. Der Betrag für die Annäherung des Nickels an das Eisen ist die Differenz der zurückgelegten Wege beider Körper. Der Nickel tropfen ist dem Eisentropfen damit näher.

Da Nickel die höhere Dichte hat, ist die resultierende Geschwindigkeit nach der Beschleunigung höher als beim Eisen. Der Unterschied ist aber nicht so groß.

Während beide Tropfen sich von der Ekliptik entfernen, nimmt die Gasdichte der Gasscheibe ab, und beide Tropfen erleben eine leichte Beschleunigung. Bis der jeweilige Tropfen die erforderliche Bahngeschwindigkeit erreicht hat. Nickel erreicht die Geschwindigkeit eher als Eisen. Damit ist der Abstand der Ebene auf der ein Nickel tropfen bleibt kleiner als beim Eisen.



Zeichnung 1 : Tropfenbewegung in der Gasscheibe eines Sterns

r_{bF} = Radius beim Beginn des freien Falls eines Tropfens

r_{eF} = Radius am Ende des freien Falls eines Tropfens

r_{Kep} = Radius beim Erreichen der Keplerschen Geschwindigkeit = variabel

s_F = zurückgelegte Strecke während des freien Falls (Beschleunigungsphase)

s_A = zurückgelegte Strecke in der Aufstiegsphase = variabel

s_{Ek} = Abstand der Ebene zur Ekliptik auf der Körper die Keplersgeschwindigkeit erreichen

V_{bF} = Geschwindigkeit der Tropfens im Punkt der Kondensation in Richtung Stern = 0

V_{eF} = Geschwindigkeit der Tropfens nach der Beschleunigungsphase

V_g = Geschwindigkeit des Gases um den Stern beim entsprechendem Radius

ΔV = resultierende Geschwindigkeit aus V_{eF} und V_g

V_d = Zunahme der Geschwindigkeit durch Dichteabnahme in der Gasscheibe

$$V_{\text{Kep}} = \text{Keplergeschwindigkeit des Tropfens} = \Delta V + V_d$$

Erreicht Nickel diesen Wert ist die Bahn des Tropfens stabil. Der Tropfen nähert sich nun nicht mehr dem Stern. Demnach gibt es auch einen Radius für jedes Element und jedes, was die Bahngeschwindigkeit erreicht hat. Da der Eisentropfen einen längeren Weg zurücklegt als der Tropfen aus Nickel, bis es die Bahngeschwindigkeit erreicht hat, ist der Abstand zum Stern noch kleiner geworden und der Abstand zu den Nickeltropfen größer.

2.5.6. Die Entwicklung der Tropfen bis zu Bahngeschwindigkeit

Ich habe jetzt schon einmal aufgezeichnet, welche speziellen Radien bei der Bildung von Tropfen von Bedeutung sind. es gibt den Punkt der Kondensation. Das würde ich mit r_{bF} bezeichnen (siehe Zeichnung 1). Das wäre der Beginn der Freien Falls. Als nächstes wäre der Radius wichtig, bei dem der Tropfen eine konstante Geschwindigkeit erreicht. Das wäre das Ende des freien Falls und den Radius würde ich mit r_{eF} bezeichnen. Aus beiden Radien ergibt sich die zurückgelegte Strecke während des Freien Falls. Das wäre die Beschleunigungsstrecke s_B . Demnach wäre r_{bF} minus r_{eF} gleich s_B . Die Länge der zurückgelegten Strecke ist abhängig von der Dichte des Körpers. Je höher sie ist, umso geringer ist der Reibungswiderstand und umso länger dauert die Beschleunigungsphase. Der Körper größerer Dichte legt in der Zeit eine größere Strecke zurück, und damit ist s_B größer.

Zudem muss man das V_{ef} festlegen. Das ist die erreichte Geschwindigkeit nach der Beschleunigung. Je größer die Dichte, umso größer ist auch V_{ef} . Diese Geschwindigkeit des Tropfens setzt sich aber aus zwei Vektoren zusammen. Der zweite Vektor ist die Geschwindigkeit des Gases zum Zeitpunkt der Tropfenbildung. Das wäre V_g . dieser Vektor ist um 90° gegenüber V_{ef} versetzt. Der Wert von ΔV wäre die resultierende Geschwindigkeit, und demnach die wahre Geschwindigkeit des Tropfens.

Die resultierende Geschwindigkeit ΔV nähert sich nun der erwarteten Bahngeschwindigkeit oder Keplerschen Geschwindigkeit V_{Kep} an in dem sich der Tropfen von der Ekliptik entfernt. Dadurch bewegt er sich in Regionen geringerer Gasdichte. Damit wird die Reibung kleiner und die Geschwindigkeit steigt so lange bis er diese Bahngeschwindigkeit V_{Kep} erreicht hat. Da ein Körper geringerer Dichte nach der Beschleunigung ein kleineres V_{ef} hat, muss er sich weiter von der Ekliptik entfernen, um die Bahngeschwindigkeit V_{Kep} zu erreichen. Damit ist der Abstand s_{Ek} der Ebene von der Ekliptik größer. Aus den Abständen der unterschiedlichen Ebenen ergeben sich dann die späteren unterschiedlichen Inklinationen. So ist die Dichte in Bezug zur Inklination umgekehrt proportional. Je größer s_{Ek} umso kleiner die Dichte.

Hierzu kommt noch ein weiterer Faktor. Wenn die Rotation größer wird, plattet sich die Gasscheibe stärker ab. Besonders ab 1,1 Sonnenmassen steigt die Rotation der Sterne. in diesem Fall wird auch die Gasscheibe dichter. Kondensiert nun ein Tropfen bestimmter Art, zum Beispiel Eisen, so wird der Abstand s_{Ek} größer, und damit ist auch die Inklination der Eisenkörper größer. Als Beispiel kann man die Eisenkörper während der Entwicklung von Erde und Jupiter nehmen. So sind die ehemalige Inklination vom Eisenkern der Erde $11,8^\circ$ gewesen, und bei Jupiter waren es $12,7^\circ$. Das sind die Werte für die Magnetachsen. Das bedeutet, zur Zeit des Jupiters war die Rotation der Gasscheibe höher und die Abplattung dieser Scheibe stärker. Wenn diese Rotation größer ist, sind auch die Mindestmassen der Körper bei der Erstdurchdringung der Scheibe größer. Damit ist auch am ende einer Entwicklungsreihe bis zur Mondgröße der Körper größerer masse. Das erklärt, warum Io größerer Masse ist als der Mond. Das ist einzig und allein an die Rotation der Gasscheibe gebunden.

Bei höherer Rotation ab 1,1 Sonnenmassen nimmt daher auch die Masse der Monde die einen Exoplaneten umrunden zu. Genau so wächst auch die Kernmasse schwerer Elemente des Gasplaneten (42.1.) (siehe Exoplanet Hd149026b, dessen Stern 1,2 Sonnenmassen hat.)

2.5.7. Streuung der Tropfen beim Aufstieg

Nachdem die Beschleunigung des Tropfens abgeschlossen ist, befindet sich der Tropfen beim Radius r_{ef} . Jetzt entfernt er sich von der Ekliptik und erreicht mit immer größerem Abstand von der Ekliptik die Keplersche Geschwindigkeit V_{Kep} . Das wäre bei einem bestimmten Radius erreicht, der mit r_{Kep} bezeichnet werden soll. Dieser Radius ist im Gegensatz zu den andern beiden Radien variabel. Warum?

In dem Sinne könnte man zu dem Gedanken kommen, es wäre ein Auftrieb aus der Strömung. Das ist aber falsch. Der Tropfen bewegt sich jedoch nach der Wahrscheinlichkeit aus dem dichteren Gas heraus. Er „taucht auf“, und er „taucht ein“ und sucht in dieser Bewegung den Weg des geringsten Widerstandes. Wie lange er dafür benötigt, um die keplersche Geschwindigkeit zu erreichen ist nicht festgelegt. Dadurch ist der Radius r_{Kep} variabel. Das bedeutet, die Tropfen verteilen sich auf einer Ringebene, - ich würde diese Ebene b_{Kep} bezeichnen, weil es ein Band ist. Die Tropfen werden demnach gestreut. Diese Streuung ist wiederum für die weitere Entwicklung sehr wichtig, denn die Körper die sich dort vergrößern, tauchen in die Gasscheibe ein. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit größer auf Tropfen zu stoßen, die ihnen entgegen kommen, also auftauchen, wenn sie sich diese streuen, größer. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit des Wachstums.

2.5.8. Trennung von Eisen und Gestein durch die Gasströmung

Aus dieser Beschreibung der Kräfte und Vektoren von Körpern unterschiedlicher Dichte und Kondensation, ist man in der Lage zu erklären, wie sich Körper nach der Dichte und den Kondensationspunkt trennen. Besonders für Eisen und schwere Silikate, oder Silikate mit hohem Kondensationspunkt ist eine Trennung von Eisen und Gestein über die Strömung der Gasscheibe möglich. Man ist in der Wissenschaft immer noch der einhelligen Meinung, dass die Trennung erst innerhalb eines großen Körpers stattfindet. Die Trennung von Eisen und Gestein beginnt übrigens schon mit dem freien Fall, also mit dem Moment der Tropfenbildung ein Eisentropfen bietet den geringeren Reibungswiderstand und setzt damit eine höhere Beschleunigung frei. Gesteinstropfen haben daher von Beginn an unterschiedliche Geschwindigkeiten. Da sie sich auch in der Nähe der Ekliptik bilden, ist das von höherer Bedeutung. Sind sie nun in der Aufstiegsphase nähern sich ihre Geschwindigkeiten an, aber das Gestein muss weiter aufsteigen und bewegt sich zum Schluss auf eine Ebene, die einen größeren Abstand zur Ekliptik vorweist.

2.5.9. Wellenbewegung von dem Durchbruch der Gasscheibe

Bevor Körper die Gasscheibe durchdringen, tauchen sie in die Gasscheibe ein und wieder auf. Während sie den Stern umrunden, bewege sie sich wie eine Welle um den Stern herum. Die Amplitude der Welle ist abhängig von der Größe des Körpers. Die Wellenlänge ist abhängig von der Zunahme der Gasdichte der zirkum-stellaren Scheibe. Die Wellenbewegung verläuft nicht auf einer Ebene, sondern entspricht einer gekrümmten Fläche, die einem Kegelausschnitt gleich kommt.

Die Welle selber wäre eine stehende Welle. Da aber eine weitere Kraft wirkt, nämlich die Periheldrehung, führt die Welle eine Eigenbewegung durch. Die Welle wandert. Es werden nicht nur die Bahnen von Körpern gedreht, die die Gasscheibe durchdrungen haben, sondern auch der Sinusverlauf der Bahn eines Körper, die nur in das dichtere Gas eindringen. Das führt zu einer ständigen Veränderung der Bahn. Je größer die Körper sind, umso größer wird auch die Frequenz, und umso kleiner wird die Periheldrehung der Wanderung der Welle. Kleine Frequenzen laufen an großen Frequenzen vorbei. Damit verändern sich die Kreuzungspunkte unterschiedlicher Amplituden. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Körper zusammentreffen.

Die Periheldrehung würde demnach dazu führen, dass die unterschiedlichen wandernden Frequenzen das Wachstum fördern. Diese Betrachtung ist sehr wichtig, wenn sich ein Planet mit seinen Monden in der Nähe des Sterns und des Entstehungsbereiches befindet. Sein Massengewinn erhöht die Periheldrehung und beschleunigt so die Entwicklung aller Körper.

Ein stetiger Faktor für das Wachstum der Körper ist in dieser Phase das Aufsteigen der Chondren. Diese Chondren treffen auch auf die unterschiedlichen Körper und binden sich an größere Körper.

Betrachtet man noch einmal die Amplitude, so wird dieser immer größer, je mehr Masse der Körper gewinnt. Im Moment des Durchbruchs, wird aus der Amplitude eine elliptische Bahn um den Stern. Damit wird der Weg des Körpers um den Stern in einem Moment wesentlich kürzer. Dann bleibt dem Körper nur noch die Periheldrehung als Faktor der Bahnänderung. Das heißt, die Entwicklung geht mit einem Schlag zurück.

In dieser Betrachtung liegt noch ein wesentlicher Gedanke. Körper sind nach ihrer Dichte an bestimmte Ebenen gebunden und daraus ergeben sich bestimmte Inklinationen. Je kleiner die Dichte ist, umso länger muss die Amplitude sein, um die Gasscheibe zu durchdringen. der Körper geringerer Dichte hat am Anfang eine schnellere Entwicklung, weil er diesen längeren Weg seiner Bahn hat.

2.5.10. Wechselwirkung zwischen Chaos und Ordnung

Wenn Körper in ihren Bewegungen um den Stern Sinuskurven durchführen, beschreiben die Kreuzungspunkte den Winkel des Zusammentreffens. Die Wanderungsgeschwindigkeit der Bahn ist ein Faktor für die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens. Das Zusammentreffen könnte bedeuten, dass der kleinere Körper auf den großen stürzt. Für den großen Körper hat das eine Bahnveränderung zur Folge. Ein naher Vorbeiflug führt ebenfalls für beide zu einer Bahnveränderung. Die gegenseitige Beeinflussung der Körper führt zu unregelmäßigen Bahnverläufen. Es entsteht ein höheres Chaos. Die Strömung zwingt den Körper wieder in eine geregelte Bahn.

Um das Wesentliche bei der Bildung kleiner Körper festzuhalten, so besteht die Entwicklung aus einer Wechselwirkung von Chaos und Ordnung. Zusammenstöße und nahe Vorbeiflüge von Körpern führen zum Chaos und die Strömung der Gasscheibe stellt die Ordnung wieder her.

Bei kleineren Körpern ist die Wirkung größer und bei größeren nimmt die Wirkung ab. Bei kleineren Körpern ist das chaotische Verhalten größer und bei größeren Körpern nimmt es zunehmend ab.

2.5.11. Rotation und Körperklassen

Wenn Meteoriten in die Gasscheibe eindringt, wirkt eine Kraft direkt auf die Oberfläche. Sie ist die direkte Linie zum Stern. Die Kraft trifft der Körper demnach einmal von der sternzugewandten Seite. Der Körper selber bewegt sich gleichzeitig schneller als der Gasstrom. Also trifft ihn auch die Kraft von vorne. Schaut man auf die cirkum-stellare Scheibe so setzt die wirkende resultierende Kraft auf die Seite des Körpers an. Damit wird unter diesem Winkel die Rotation beigebracht.

Die Rotation ist einmal unter den Winkeln zu betrachten, wie der Körper in die cirkum-stellare Scheibe eindringt, und zum anderen hängt es von seiner Größe ab. Bei der Größe ist das Maß der Radius des Körpers. Wenn dieser größer wird, ist der Hebel länger und damit ist die wirkende Kraft größer und die Rotation steigt.

Die Gasscheibe selber ist ausschlaggebend, warum Körper unterschiedlicher Dichte, auch eine andere Rotation vorweisen. Da sich Meteoriten aus Eisennickel näher zur Ekliptik bewegen, befinden sie sich in einem dichteren Gas und erfahren eine größere Reibung durch das Gas. Das bedeutet, die von vorne wirkende Kraft ist größer, als bei Gesteinsmeteoriten. Aus diesem Grund ist die Rotation der Eisennickelmeteoriten größer. Je höher die Dichte einer Klasse von Körpern ist, umso höher ist auch ihre Rotation. So kann man die dichtetpezifische Rotation der später entstehenden Klassen der Asteroiden erklären (7.4.)⁶³.

⁶³ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Originaltitel: „Exploration and Discovery in the Solar System.“ Cambridge University Press 1991

An den Meteoriten kann man die Rotation mehr erkennen. Es ist aber so, dass die Eisennickelmeteoriten Remaglypte vorweisen, die nur durch die Reibung in einem heißen Gas an der Oberfläche zu erklären ist (15.2.)⁶⁴. Diese Oberflächenstruktur ist daher ein indirekter Hinweis für das Wirken dieser großen Kräfte. Wesentlich ist jedoch, dass bei einzelnen Körpern die Rotation so früh einsetzt.

Rotation der Asteroiden in Relation zu Masse, Dichte und Größe. Textquelle: Stanley F. Dermott und Carl D. Murray: Nature 296, 418 (1982), S. 210, unten.

⁶⁴ Rolf W. Bühler: „Meteorite“ - Urmaterial aus dem interplanetaren Raum, Weltbild Verlag GmbH, Augsburg 1992 Birkhäuser Verlag Basel

Die Eisenmeteoriten von Cabin Creek und Bushman, Land, Namibia weisen ausgebildete Remaglypten auf, die nur dadurch zu erklären sind, dass sich dieser Körper schnell bewegten turbulenten heißen Luftmassen aufgehalten hat. Die Remaglypten sind nicht durch Ausbrennen von niedrigschmelzenden Mineralien zu erklären, was vielfach angenommen wird. Es sind daumengroße Dellen in der Oberfläche.

S. 117 + 119

2.6. Zur Entwicklung der Meteoriten

2.6.1. Die Meteoriten und das Ende des Entstehungsbereiches

In diesem Kapitel sollen ein paar Beispiele zur Struktur der Meteoriten aufgeführt werden. Vordem ist die Bildung dieser kleinsten Körper theoretisch besprochen worden. Hier wird der Vergleich zu den unterschiedlichen Arten der Meteoriten gezogen, die auch den Arten der Asteroiden entsprechen.

Die Meteoriten sind kleine Körper aus dem Asteroidengürtel. Der Asteroidengürtel ist aus den bisherigen Überlegungen der Rest eines Entstehungsbereiches von den Körpern des äußeren Sonnensystems. Meteoriten waren wegen ihrer Masse zu klein, um die verdichtete Gasscheibe zu durchdringen. Sie entsprechen damit auch einer eigenen Kategorie von Größe, die nur verständlich wird, wenn man diese Gasscheibe vor Augen hat, in der sie entstanden. Sie sind übrig geblieben, weil sich der Asteroidengürtel als ehemaliger Entstehungsbereich nicht weiterentwickeln konnte. Er ist in dem Sinne als Entstehungsbereich zusammengebrochen und hat sich weiter zum Stern verlagert. Damit entsprechen sie in ihrem ganzen Spektrum von den Chondren bis zu den Asteroiden einem bestimmten Entwicklungsstand, der als solches eingefroren wurde, weil mit einem Mal die Temperatur verloren ging.

Da die Entwicklung dieser Körper von der Gasscheibe und dem Sonnenwind abhängig ist, und dieser Zusammenbruch bevor steht, muss man vor Augen haben, was welche Struktur der Gasscheibe vorlag. In dieser letzten Phase wurde zuerst die Rotation kleiner und anschließend brach mit einem Mal die Temperatur ein. Diese abgeschwächte Rotation der Gasscheibe führte zu der immer schlechteren Trennung besonders von Gestein und Eisen. Die Ebenen wurden auf der sich die einzelnen Klassen abgesetzt haben wurden abgesenkt, und es kam in dieser Phase zur Vermischung der Klassen. Es haben sich aber auch die Chondren der einzelnen Klassen vermischt, weil der Einfluss des Sonnenwindes der Ekliptik immer näher kam. Das waren die letzten Momente des aktiven Entstehungsbereiches.

Wenn der Asteroidengürtel der Entstehungsbereich ist, würde es bedeuten, die Meteoriten existieren nur in dieser Region. Die bekannten Bahnen der Meteoriten weisen darauf hin, dass sie nur aus dem Asteroidengürtel kommen (19.5.)⁶⁵.

2.6.2. Undifferenzierte Meteoriten

Die ältesten Formen der Meteoriten sind die kohligen Chondrite. Sie gehören zu den undifferenzierten Meteoriten. Diese kann man den Asteroiden nicht zuordnen. Sie sind die ältesten Körper in unserem Sonnensystem und beschreiben damit die früheste Phase der Körperbildung.

Die kohligen Chondrite bestehen aus einzelnen Chondren. Heiße Chondren, man nennt sie auch Kalzium-Aluminium-reiche Einschlüsse (CAIs), die zwischen 1500 und 1900 Kelvin erreicht

⁶⁵ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Meteoriten kommen nach Berechnungen ihrer Bahnen aus dem Asteroidengürtel.

S. 98

haben müssen, liegen direkt neben kühlen Chondren (2.1.)⁶⁶. Diese Chondren sind aus unterschiedlichen Temperaturbereichen zusammengekommen, erstarrt und so erhalten geblieben.

Diese CAIs müssen in der Nähe der Sonne entstanden sein, haben sich von der Ekliptik entfernt. Sie müssen recht früh von dem Sonnenwind erfasst worden sein und kamen so in kühleren Regionen, wo sie mit anderen Chondren zusammen kamen.

Sie entstehen in der allerletzten Phase, als der Asteroidengürtel noch seine Funktion als Entstehungsbereich hatte. In dieser Phase nimmt die Gasscheibe rapide ab und der Sonnenwind nähert sich zunehmend der Ekliptik. Damit kommt er in den Bereich, wo sich die frühesten Formen der Körper gerade entwickelten. So repräsentieren sie, wegen dieser starken Bewegung, ein breites Spektrum an Elementen, was der solaren Zusammensetzung sehr nahe kommt.

Im gleichen Meteoriten gibt es FeO-reiche Olivinkörner, die sich mehrmals durch ein heißes sehr sauerstoffhaltiges Gas bewegt haben müssen (2.8.)⁶⁷. Diese kleinen Tropfen haben sich öfter der Sonne genähert und sind wieder von ihr weggetrieben. Dieses Verhalten ist nur zu verstehen durch die Wechselbeziehung von besonders dichtem Gas oder dem Sonnenwind. Während der Sonnenwind die Chondren in größeren Abständen zur Ekliptik wegtreibt, werden sie in geringeren Abständen zur Ekliptik im Schutz des Gasstromes gebremst und nähern sich der Sonne.

Allgemein könnte man zu den Chondren sagen, sie sind Körper, die in der dichten Gasscheibe entstehen und auf bestimmte Ebenen parallel zur Ekliptik aufsteigen. Meteoriten wären die nächste Stufe von Körpern, die bestimmte Ebenen erreicht haben und von dort aus versuchen den Gasstrom zu durchdringen.

2.6.3. „Die Fremdlinge“

Innerhalb der kohligen Chondrite sind CAIs zu finden, die wiederum in sich „Fremdlinge“ aufweisen. Diese haben einen Durchmesser von ca. 1 Zentimeter Durchmesser und man findet sie z.B. im Allende-Meteoriten (19.17.)⁶⁸. Diese bestehen aus Eisennickel. Darin befinden sich Substanzen wie Rhenium, Wolfram, Molybdän, Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium.

⁶⁶ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Schmelztemperatur und Entwicklung der kohligen Chondrite. Die Zusammensetzung bestimmter Chondren (CAI's) fordert Temperaturen über 1500 K, die Jahre angedauert haben könnten.

S. 84 f

⁶⁷ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Die Bildung der Olivin-Körner verlief sehr schnell und die Meteoritenbildung, als das Werden zu größeren Körpern verlief sehr langsam. Diese Olivin-Körner im Allende-Meteoriten bewegten sich in einem heißen Gas mit hohem Anteil an FeO. Die Strukturen dieser Olivin-Körner dass sie diese Erhitzungsphasen mehrmals aufgetreten sind.

S. 85 f

⁶⁸ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Innerhalb der kohligen Chondrite befinden sich CAIs. In ihnen finden sich sog. „Fremdlinge“. Fremdlinge bestehen aus Eisen-Nickel. In diesen befinden sich wiederum Rhenium, Wolfram, Molybdän, Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium.

S. 234, Foto,

Diese Elemente haben alle einen sehr hohen Schmelzpunkt. Zudem haben sie eine sehr hohe Dichte. Das bedeutet, innerhalb der Gasscheibe, die sich um den Stern während seiner Entstehung abplattet, ist ihr Aufenthaltsort sehr nahe auf der Rotationsebene oder der Ekliptik. Eisennickel wäre ihnen auf Grund der eigenen hohen Dichte demnach schon am nächsten. Diese Elemente würden sich aber trotzdem noch näher zum Stern hin entwickeln, weil ihre Schmelztemperatur viel höher ist.

Die kohligen Chondrite sind nach meinen Überlegungen in der letzten Phase entstanden als der Entstehungsbereich des Asteroidengürtels zusammengebrochen ist. Die Sonne wurde kleiner. Der Bereich kühlte aus, und vor allem zog sich die Temperatur aus dem Bereich der abgeplatteten Gasscheibe in dieser Region zurück. Damit wurden alle entstanden Chondren oder Tropfen gemischt. Sie zogen sich nicht mehr wegen ihrer Dichte auf bestimmte Ebenen entlang der Ekliptik zurück, sondern sie mischten sich in diesen verschiedenen Breiten. Dazu kam der Sonnenwind. Dieser hatte in der Region der Ekliptik keinen Einfluss. Dadurch, dass die Abplattung verschwand, konnte er auch dort wirken. In dieser Region finden wir auch diese Elemente sehr hoher Schmelztemperatur. Sie wurden über den Sonnenwind zu diesen „Fremdlingen“ aus Eisennickel getrieben. Als sie weggetrieben wurden, hielten sie sich weiterhin in der Nähe der Ekliptik auf und damit konnte auch nur das Eisennickel wegen der relativ hohen Dichte diese Elemente an sich binden. Damit entstanden die „Fremdlinge“. Die Fremdlinge selber wurden deswegen von anderen Chondren eingefangen, weil sie ohne die Abplattung der Gasscheibe, aus größeren Breiten die Ekliptik durchdringen konnten.

2.6.4. Isotope der kohligen Chondrite

Das Verhältnis der Isotope ist bei den kohligen Chondriten im Gegensatz zu dem Gestein unserer Erde ein anderes. Wir finden dort viel mehr Isotope, die für eine größere Strahlung sprechen (22.2.)⁶⁹. Da die Sonne in ihrer T-Tauriphase viel mehr Flares gehabt hat, und die Asteroiden dieser Zeit entsprechen, ist das die Ursache für die hohe Strahlung gewesen. Die Erde entstand später in einer ruhigeren Phase der Sonne als sie kleiner war und die unruhigen Schichten mit Gasen zugedeckt wurden. Das spricht auch dafür, dass sich der Entstehungsbereich während der Bildung der Körper im inneren Sonnensystem getrennt hatte oder in der Trennung begriffen war.

2.6.5. Eisenanteil der Steinmeteoriten

Eisen und Gestein kondensieren im gleichen Abstand zum Stern, setzen sich aber in einem größeren Abstand von der Ekliptik ab. Gesteinskörper dringen tiefer in den Gasstrom ein und treffen zwangsläufig auf Eisen. Daher hat Gestein bei dem Meteoriten immer einen Anteil an Eisen. Dieser Anteil ist davon abhängig, wie stark die Gasscheibe ist. Ist sie schwächer, dringen mehr kleinere Körper in tiefere Region und binden einen höheren Anteil an Eisen. Die unterschiedlichen Mischformen der H-, L- und LL-Chondriten lassen sich demnach über die Stärke der Gasscheibe erklären. Je stärker sie ist, umso geringer ist der Anteil an Eisen (5.53.)⁷⁰. Der zunehmende Anteil an Eisen spricht dafür, dass die Gasscheibe immer weniger abplattet.

⁶⁹ David N. Schramm, Robert N. Clayton: „Löste eine Supernova die Bildung des Sonnensystems aus?“

Der Allende-Meteorit weist ein ungewöhnliches Isotopenverhältnis auf, einmal von Sauerstoff-17 und Sauerstoff-18, und von Magnesium-26, Ca-41 und Be-10.

Spektrum der Wissenschaft, 12-1978

⁷⁰ Gewöhnliche Chondrite unterscheidet man im unterschiedlichen Gehalt an Eisen. H steht für „high Fe“ und L für „low Fe“. Gewöhnliche Chondrite zeigen einen unterschiedlichen Grad der Erhitzung. Manche haben 700° Celsius erreicht und andere 900° Celsius. Daher, unterscheidet man in unterschiedliche Erhitzungsgrade und nennt sie zum Beispiel H3- bis H6-Chondrite.

Sterne und Weltraum, 10-2003 - S.28

2.6.6. Eisen-Stein-Meteoriten

Die Entstehung der Eisen-Stein-Meteoriten ist nur möglich, weil die Gasscheibe einen geringeren Einfluss im Entstehungsbereich hat. Sie entstehen in der T-Tauriphase der Sonne, wo ein Teil ihrer Rotation verloren ist, aber immer noch eine hohe Leuchtkraft herrscht. Damit ist der Entstehungsbereich am gleichen Ort geblieben, obwohl die Gasscheibe schwächer wurde. Darin entstehen die Eisen-Stein-Meteoriten, die vergleichbar sind mit der S-Klasse der Asteroiden (7.4.)⁷¹. Sie bestimmen die gesamte Entwicklung von Callisto. Sein Kern besteht aus einer Mischung von Eisen und Gestein. Somit nimmt seine Dichte zum Zentrum nicht so stark zu, wie bei den anderen Monden des Jupiters (5.25.)⁷².

2.6.7. Entwicklungsgeschwindigkeit von Eisennickel

Eisen entsteht in der Nähe der Ekliptik. Der Sonnenwind wirkt dort nicht. Zudem lassen sich Eisenkörper durch Strömungsturbulenzen viel weniger bewegen. Es braucht daher mehr Zeit, um größere Körper aus Eisen zu bilden.

Das drückt sich auch im Bestrahlungsalter aus. Das Bestrahlungsalter entspricht einem bestimmten Zeitraum bis ein Körper ungefähr Metergröße erreicht hat. Ab da kann ihn die Strahlung von der Sonne nicht mehr durchdringen. Das Gestein hat ein Bestrahlungsalter von 20 Millionen Jahren, während Eisen 100 Millionen Jahre hat (2.7.)⁷³.

Eisen hat gut die doppelte Dichte vom Gestein. Würde man es in Relation zum Gestein setzen, dürfte das Entwicklungsalter nur dem doppelten Wert entsprechen. Es dauert jedoch fünfmal so lange bis ein Eisenkörper die gleiche Größe erreicht. Die Begründung liegt im Sonnenwind. Er beeinflusst nur die Gesteinskörper, weil sie den größeren Abstand von der Ekliptik haben. Der Sonnenwind ist der zusätzliche Einflussfaktor, der eine größere Bewegung kleinerer Körper provoziert und damit die Entwicklung beschleunigt.

⁷¹ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Originaltitel: „Exploration and Discovery in the Solar System.“ Cambridge University Press 1991

Unterteilung verschiedener Arten der Asteroiden, ihre Verteilung im Asteroidengürtel.

Textquelle: Jonathan Gradie und Edward Tedesco: Science 216, 1405 (1982)

S. 211

⁷² Die Galileischen Monde weisen getrennte Schichten von Eisen im Kern Gestein im Mantel und Eis und/oder Wasser in den äußeren Schichten vor. Auf Io ist kein Eis zu finden. Bei Callisto ist die Dichte im Kern nicht so hoch, wie bei allen anderen Monden. Die Stärke der Eis- und Wasserschicht wird bei Europa auf 70-200 km geschätzt und bei Ganymed auf bis zu 800 Kilometer.

Sterne und Weltraum, 7/2002 / S. 26

⁷³ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Bestrahlungsalter von Eisen- und Steinmeteoriten. Die Bestrahlungszeit besagt, wie lange ein Körper braucht, um zu einem größeren Körper zu werden, der sich damit der Strahlung aus dem All entzieht. Der Eisenmeteorit braucht dafür 100 Millionen Jahre, und der Steinmeteorit nur 20 Millionen Jahre.

S. 84

Diese langsame Entwicklungsgeschwindigkeit unterstreichen die Widmannstättischen Figuren in Eisenmeteoriten. Diese sind nur zu erklären, wenn sich ein Körper über mehrere 10 Millionen Jahre nahe dem Schmelzpunkt hält (7.10.)⁷⁴. Eisen hat sich demnach extrem lange in Sternnähe aufgehalten.

2.6.8. Nickelanteil im Eisenmeteoriten

Wenn man die reinen Eisenmeteoriten betrachtet, so sind sie nicht nur aus Eisen, sondern bestehen zu einem großen Teil aus Nickel. Warum ist es jedoch gerade Nickel und nicht zum Beispiel Kupfer, was in Eisenmeteoriten vorgefunden wird? Die Begründung kann nur daran liegen, dass sich Schmelzpunkt und die Dichte von Eisen und Nickel ähneln. Ein Bild für ihre Entstehung muss beide Faktoren erfüllen.

Bei Kupfer liegt z.B. der Schmelzpunkt ungefähr 450 K unterhalb des Eisens und bei Nickel ist er 86 K geringer. Die Dichte von Nickel ist etwas größer als beim Eisen. Wenn Nickel kondensiert, entspricht der zweite Vektor wegen der höheren Dichte einer etwas höheren Geschwindigkeit. Nickel würde mit einer höheren Anfangsgeschwindigkeit nach der Kondensation die Ekliptik verlassen und wegen der höheren Dichte in einem geringeren Anstand von ihr die Bahngeschwindigkeit erreichen. Nickel nähert sich damit dem Eisen und schiebt sich sozusagen unter die Schicht des Eisens. Wenn Eisenkörper größer werden, dringen sie zwangsläufig in dichtere Schichten der Gasscheibe und bewegt sich durch den Bereich in dem sich Nickel aufhält.

2.6.9. Mischungsverhältnis von Eisen und Nickel

Da beide Elemente also Eisen und Nickel von der Dichte ähnlich sind, so erreichen sie nach dem freien Fall eine ähnliche Endgeschwindigkeit. Mit dieser Geschwindigkeit bewegen sie sich auf die jeweiligen Ebenen in der Strömung auf beiden Seiten der Ekliptik. Weil diese Geschwindigkeiten so ähnlich sind, wird dem Eisen immer etwas Nickel beigemischt. Das ist unvermeidlich. Der Anteil kann sehr groß sein, womit man zwei Arten von Eisen-Nickel-Meteoriten unterscheidet.

Man unterscheidet sie daher in Kamazit (bis 7%) und Tānit (bis 50%). Bei Tānit stellt man zudem fest, dass sich zur äußeren Schicht des Meteoriten hin der Anteil an Nickel erhöht (19.18.)⁷⁵.

Warum mischt sich dieses Kamazit nicht zu den äußeren Schichten mit weiterem Nickel? Der Grund liegt in der Dichte. Wenn der Meteorit wenig Nickel aufnimmt ist seine Dichte geringer als die des Nickels. Folglich ist der Abstand zur Ebene auf der sich der Nickel in der Gasscheibe aufhält, größer. Daher kann er sich ein Meteorit nicht mit dem Nickel vermischen, weil er zu weit entfernt ist. Vor allem sind es kleine Körper, die noch nicht so tief in den Gasstrom eindringen.

Tānit hat von vorne herein schon beim „Aufstieg“ einen größeren Anteil an Nickel aufgenommen. Damit ist auch die Dichte höher und die Ebene näher zu der Ebene auf der sich Nickel bewegt. Beim Eintauchen ist damit die Wahrscheinlichkeit viel höher auf Nickel zu stoßen. Mit dem höheren Anteil wächst demnach die Wahrscheinlichkeit Nickel beim Eintauchen an sich zu binden. Dann wird der Nickelgehalt zum Rand hin größer.

⁷⁴ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Originaltitel: „Exploration and Discovery in the Solar System.“ Cambridge University Press 1991

Widmannstättische Figuren, S. 222

⁷⁵ Ludolf Schulz: „Planetologie eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Mischungsverhältnis von Eisen und Nickel im Eisenmeteoriten

S. 107

2.7. Sonnenflecken und Meteoritenentwicklung

2.7.1. Meteoriten und die Sternoberfläche

Die Entwicklung der Meteoriten hat ganz in der Nähe des Sterns stattgefunden. Damit existiert über sie der Bezug zum Stern und seiner Oberfläche. Die Meteoriten entsprechen einem bestimmten Entwicklungsstand in der Gasscheibe. Die Strömung zwingt sie in bestimmte Bahnen, und daher kann man Aussagen zum Auftreten der Sonnenflecken machen.

Es geht zudem darum, dass die Metallizität der Sterne schwankt. Sie zeigt eine größere Häufigkeit, wenn Exoplaneten in der Nähe sind. Exoplaneten finden sich wiederum nur bei bestimmten Sterntemperaturen. Man hat demnach den direkten Nachweis, dass sich Körper zwischen den Exoplaneten in der Nähe des Sterns und dem Stern selber entwickeln. Von daher muss man den Zusammenhang erläutern. Das gehört eigentlich schon zu den Exoplaneten, aber er wird schon hier besprochen, weil die Meteoriten die Körper sind, die sich am aller nächsten der Sternoberfläche entwickeln

2.7.2. Ursachen der Sonnenflecken

Die Sonnenflecken beginnen in größeren Breiten ungefähr bei 30° oberhalb und zeigen ungefähr bei 10° und dann bei 20° zwei Maxima (siehe Grafik 14). Am Äquator verschwinden sie. Diese Sonnenflecken spiegeln demnach die getrennte Entwicklung von Körpern in Sonnennähe wider.

Gesteinskörper mit einem Eisengehalt dringen aus größeren Abständen zur Ekliptik in die Gasscheibe ein und stürzen rotierend in die Sonne. Eisenkörper haben den geringeren Abstand zur Ekliptik und stürzen ebenfalls ab. Sie erzeugen die größeren Magnetfelder.

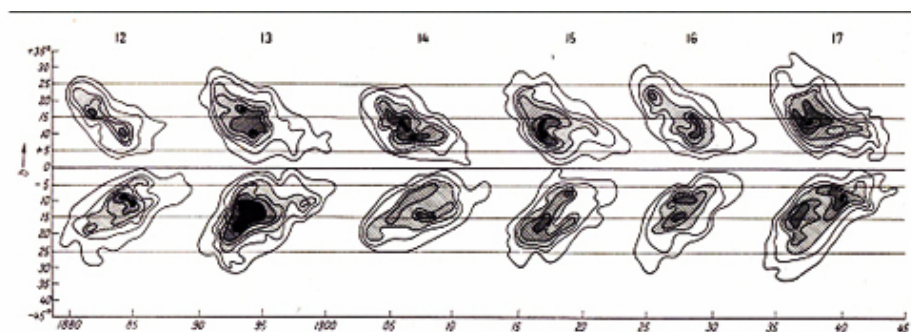


Abb. 4.49 Häufigkeitsverteilung der Sonnenflecken in verschiedenen heliographischen Breiten in Abhängigkeit von der Zeit („Schmetterlingsdiagramm“). Die Kurven sind Linien gleicher Häufigkeit. Je dunkler die Schraffur, desto größer die Anzahl der beobachteten Flecken. Am oberen Bildrand die Nummern der Zyklen

Grafik 14: Häufigkeitsverteilung der Sonnenflecken (28.1.)⁷⁶

⁷⁶ „Astronomie I“ Ernst Klett Stuttgart Friedrich Gondolatsch, 1. Auflage 1977, Sonnenfleckenverteilung vom Jahre 1880 bis 1945 S. 277,

Je tiefer ein Körper in diese Gasscheibe eindringt, umso größer müssen seine Masse und sein Durchmesser sein. Damit ist seine Rotation größer. Durch die zwei Maxima erkennt man die Trennung von Gesteinskörpern von Eisenkörpern.

Erreichen Körper den Äquatorbereich, haben sie das Maximum der Reibung überschritten und stürzen nicht mehr in den Stern. Daher existieren im Äquatorbereich keine Sonnenflecken. Ein Körper, der es bis dahin geschafft hat, die Strömung zu durchdringen, bleibt erhalten und wandert langsam vom Stern weg.

2.7.3. Rhythmen der Sonnenflecken

Körper, die in einen Stern stürzen erzeugen Magnetfelder. Da sie relativ konstant abstürzen, müssten ständig Sonnenflecken entstehen. Es ist aber so, dass sie rhythmisch auftreten. Die Ursache liegt darin, dass sich das Magnetfeld umpolt. Je stärker das Magnetfeld, umso eher erfolgt die Umpolung. Diese Rhythmen sind auch bei den Sternen im Instabilitätsstreifen vorzufinden, nur beschreiben sie da eine Größenveränderung. Die abgeführte Energie der Konvektionszonen aus dem Inneren führt zu diesen Größenveränderungen.

2.7.4. Bewegung der Sonnenflecken

Die Häufigkeit der Sonnenflecken schwankt nicht nur, sondern sie wandern auch von großen Breitengraden zum Äquator. Wie sollte man das erklären?

Um das zu begreifen muss man sich den Entstehungsbereich näher betrachten. Gesteinskörper mit hoher Kondensationstemperatur stehen der Sonne etwas näher als Eisenkörper. Sie setzen sich zudem in größeren Abständen zur Ekliptik ab und stürzen aus diesen größeren Breiten in den Stern. Zudem entwickeln sie sich schneller als Eisenkörper. Wegen der geringeren Dichte weisen sie auch eine höhere Exzentrizität auf als Eisen.

Setzt also die Entwicklung der Konvektionszonen bei den M5-Sternen ein, so existiert diese Entwicklungsreihenfolge, die sich dann in der Bewegung der Sonnenflecken zum Äquator manifestiert. Damit entsteht ein Rhythmus, der sich wieder an die Umpolung koppelt.

Den Ablauf musste man so beschreiben: Es stürzen erst Steinkörper in großen Abständen zum Äquator des Sterns ab. Dann folgen ihnen Eisenkörper in geringerem Abstand zum Äquator. Beide Klassen von Körpern werden größer und gelangen in immer tiefere Schichten der Gasscheibe. Das dauert eine gewisse Zeit. Mit der Größe steigt auch die Rotation des Körpers. In der Nähe des Sterns ist die Gasgeschwindigkeit des Sterns kleiner als in der Gasscheibe. Das führt zu ihrem Absturz, weil sie in dieser Gasschicht gebremst werden. Körper, die die Ekliptik erreicht haben wiederum eine beträchtliche Masse, und die Strömung kann sie nicht mehr bremsen. Damit sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass Körper, die sich dem Äquator nähern noch in den Stern stürzen. Sie haben einfach eine zu große Masse. Das wandern der Sonnenflecken kann man demnach so verstehen, dass eine Generation von Körpern heranwächst, die dann die Gasscheibe durchdringen. Das wäre der wandernde Rhythmus, der in den Sonnenflecken, und der damit verbundenen Umpolung erhalten bleibt.

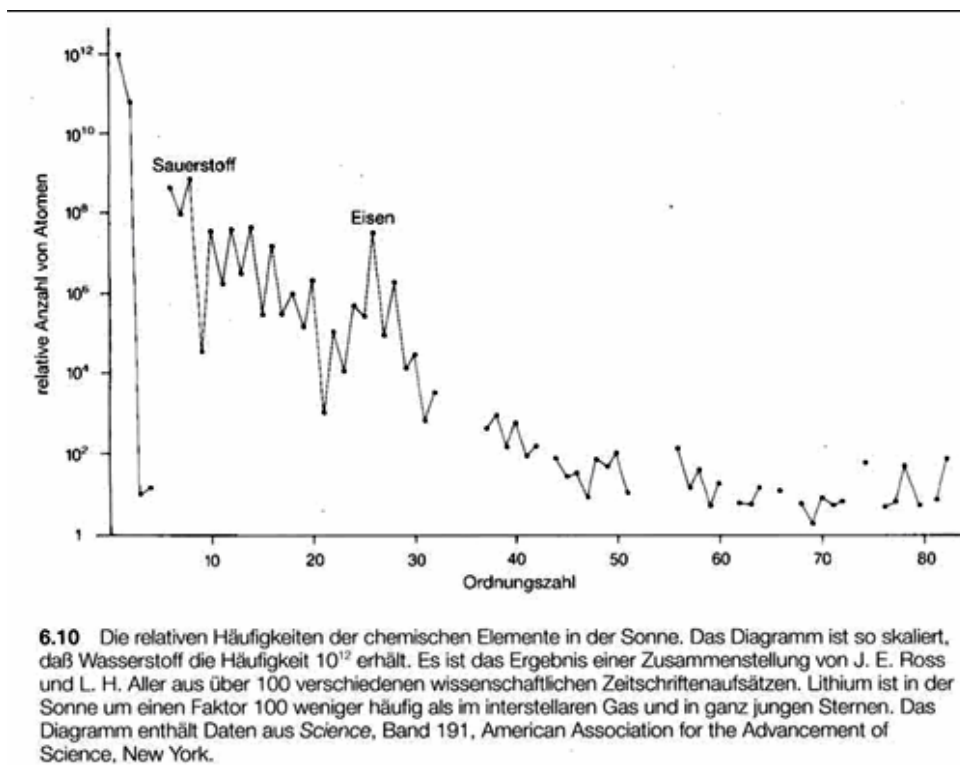
2.7.5. Ursachen des Sonnenfleckenzyklus

Das wandern der Sonnenflecken hatte ich schon zu erklären versucht. Mir kommt im Bezug darauf noch ein Gedanke. Als erstes bilden sich kleine Körper. Diese haben einen großen Abstand zur Ekliptik. Diese stürzen als erstes in den Stern. Mit der Zeit bilden sich größere Körper, die tiefer in die Gasscheibe eindringen und damit, falls sie abstürzen in einem geringeren Abstand zum Äquator vom Stern fallen. Es haben sich damit Zyklen eingespielt, die sich auf den wandelnden Magnetismus der Sonnenflecken übertragen haben. Der Sonnenfleckentätigkeit hat jedoch eine eigene Dynamik. - Das Wandern der Sonnenflecken hat die Ursache im Wachstum der Körper in der Gasscheibe.

2.7.6. Körperentwicklung bei unterschiedlicher Metallizität

Die Körper müssen generell eine Mindestgröße haben, um die Gasscheibe zu durchdringen. Das ist unabhängig von der Metallizität des Gases aus dem die Sterne entstehen. Es würde mit geringerer Metallizität nur länger dauern bis sich entsprechend viele Körper bilden. Damit entstehen auch in alten Sternengenerationen Planeten und Doppelsterne(23.3.)⁷⁷.

Durch diesen Stau von Körpern in der Gasscheibe dauert es länger, bis Körper die Gasscheibe durchdringen. Es sind demnach erst einmal weniger dieser Körper vorhanden. Diese brauchen länger, um die kritische Dichte einer Masse zu erreichen, die dazu führt, dass die Körper sich nicht mehr vom Stern entfernen. Mit abnehmender Metallizität würde sich demnach nur eines ergeben, dass der Abstand der Doppelsterne größer wird.



Grafik 15: Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonne (10.36.)⁷⁸.

⁷⁷ Doppelstern mit Planet in Kugelsternhaufen M4 gefunden, wovon ein Teil ein Pulsar ist. Der Kugelsternhaufen hat gegenüber der Sonne ein Dreißigstel der Metallizität und wird auf 12,7 Milliarden Jahre geschätzt.

URL: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltraum/0,1518,256655,00.html>

⁷⁸ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Sonne. Elemente bei denen der Siedepunkt sehr nahe am Schmelzpunkt liegt, sind nicht nachgewiesen. Diagramm S. 167

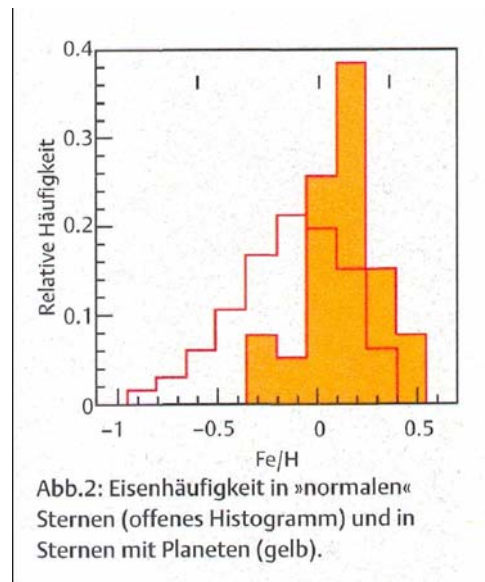
2.7.7. Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Sonne

Elemente, bei denen der Siedepunkt sehr nahe am Schmelzpunkt liegt, sind nicht in der Lage, bei der Kondensation um einen Stern, größere Körper zu bilden. Sie vergasen bei ihrer Entwicklung bevor sie die Gasscheibe durchdringen.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Sonne, so ist es nicht verwunderlich, dass gerade diese Elemente nicht nachgewiesen werden. Elemente können erst dann in der Sonne nachgewiesen werden, wenn sie nach dem Kondensieren eine gewisse Größe erreicht haben. Dafür müssen Schmelzpunkt und Siedepunkt möglichst weit auseinander liegen (siehe Grafik 15 und Tabellen 7). Erreichen sie diese Größe nicht, hinterlassen sie beim Vergasen keine Spuren.

Wir hätten damit nicht für alle Elemente, die in der solaren Zusammensetzung fehlen, den Nachweis, aber für die Elemente, die entsprechende Eigenschaften vorweisen, hätten wir ihn schon. Es gibt sicher auch andere Gründe, warum Elemente nicht nachgewiesen werden können.

Wichtig ist jedoch nur, dass man über das Prinzip der Bildung von Körpern um einen Stern einen Bezug zur Häufigkeit der Elemente in der Sonne herstellen kann. Das wäre als ein indirekter Hinweis zu werten, dass Kondensation und die Bildung größerer Körper in der Nähe des Sterns



Grafik 16: Eisenhäufigkeit bei Sternen mit Exoplaneten (5.1.)⁷⁹.

2.7.8. Eisenvorkommen bei Sternen mit nahen Exoplaneten

Das hohe Eisenvorkommen der bei Sternen mit einem Exoplaneten erklärt sich über die Periheldrehung kleiner Körper durch den Gasplaneten in der Nähe des Sterns (16.6.)⁸⁰. Die

⁷⁹ Der Anteil schwerer Elemente, insbesondere Eisen, ist bei sieben von acht Sternen, die ein Planet umkreist, stark erhöht. Die erforderliche Menge, um dieses Eisen zu erklären, entsprechen im Durchschnitt 30 Erdmassen.

Sterne und Weltraum, 2-2001 - S. 115, Thomas Bührke

⁸⁰ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Barth Verlag Heidelberg

Eigenschaften der T-Tauristerne. Besonders hervorzuheben ist dort das Vorkommen von „anormal starken Emissionslinien des neutralen Eisens FeI 4063 Å und FeI 4132 Å“. S. 157

Wellenbewegung ist eine Frequenz, die von der Größe der Körper abhängt. Es sind daher unterschiedliche Frequenzen, die übereinander liegen. Durch den Planeten in der Nähe des Sterns wandern diese Frequenzen und führen damit zu Zusammenstößen. Das fördert die Entwicklung. Damit stürzen aber auch mehr Körper ab.

Diese Eisenhäufigkeit ist ein weiterer Hinweis, für die Entstehung von Körper in Sternnähe. Bei den Exoplaneten haben daher 7 von 8 Sternen dieses erhöhte Vorkommen von schweren Elementen, insbesondere von Eisen. (siehe Grafik 16) Um dieses Vorkommen zu erklären, müssten 30 Erdmassen aus reinem Eisen in den Stern abgestürzt sein. Im Kapitel über die Exoplaneten sieht man, dass sich diese Häufigkeit von Exoplaneten nur in einem bestimmten Massenbereich der Sterne vorzufinden ist. Sie ziehen sich von den späten K-Sternen durch den gesamten Bereich der G-Sterne.

Diese Eisenhäufigkeit ist im Zusammenhang zu den Exoplaneten im Bezug auf die Sternmassen zu betrachten. Ab einer Sternmasse von 0,7 bis 1,1 Sonnenmassen treten die Exoplaneten in großen Mengen auf (siehe Grafik 26). Nur ab dieser Temperatur eines Sterns ist die Metallizität in der Sternoberfläche höher. Diese erhöhte Eisenhäufigkeit ist abhängig von der Sterntemperatur und von der Gegenwart des Exoplaneten in der Nähe des Sterns.

2.8. Körper einer Klasse

2.8.1. Körpergrößen in ihren Klassen

Körper, die die Gasscheibe durchdrungen haben, haben eine bestimmte Masse erreicht und entwickeln sich von daher weiter. Sie gehören immer einer bestimmten Klasse an. Diese findet man bei Asteroiden, und sie sind abhängig vom Kondensationspunkt und der Dichte.

Das Beispiel für diese Klassen sind die Asteroiden. Alle weiteren Körper, wie die des Kuiper-Gürtels gehören schon zu den Monden und sind in einem weiteren Entwicklungszustand. Da aber die Monde und kleine Planetensysteme, wie Pluto und Charon noch nicht in der Lage alle Kleinkörper einzusammeln, findet man auch dort kleine Körper.

Die letzte und sehr wichtige Gruppe sind die Kometen. Das wäre die äußere Klasse, die eigentlich zum Asteroidengürtel gehört. Man findet sie dort jedoch nicht, denn die Anomalie des Wassers führte dazu, dass sie eine höhere Abdrift als andere Körper haben. Sie dehnen sich mit der Kälte aus und die Strömung hat auf sie einen größeren Einfluss.

Die Kometen sind zudem Körper, die von den Gasplaneten in großen Bahnen eingefangen wurden. Daher muss man auch auf das äußere Kleinmondsystem der Gasplaneten ein Auge werfen. Auch da erfährt man etwas über die Entwicklung von Körpern mit einigen Kilometern Durchmesser.

2.8.2. Größe der Körper beim Durchdringen der Akkretionsscheibe

Beim ersten Durchdringen der Gasscheibe haben Körper neben der Inklination und der Rotation auch eine spezifische Masse und damit auch eine spezifische Größe. Hier könnte man auch von einer Mindestgröße sprechen, die ein Körper braucht, um die Gasscheibe zu durchdringen.

Um sich ein Maß der Größe vorzustellen, die notwendig war die Strömung dieser Gasscheibe zu durchdringen, muss man ein Phänomen im Asteroidengürtel betrachten. In diesem Gürtel fehlen Körper bestimmter Größe. Man fand in 99% der Fälle Körper mit 100 km Durchmesser. Von Körpern mit 10 Kilometern Durchmesser hat man ungefähr die Hälfte aller vorhandenen Körper gefunden. Es ist jedoch so, dass bei den Körpern bis zu einem Kilometer Durchmesser nur wenige Objekte gefunden wurden, obwohl es davon etwa eine Million geben müsste (20.1.)⁸¹. Die Ursache könnte gewesen sein, dass diese kleineren Körper es nicht geschafft haben diese Strömung zu durchdringen und in die Sonne gestürzt sind. Wir hätten es demnach mit einer Mindestgröße zu tun, die erforderlich ist, um als Körper zu bestehen.

Den gleichen Hinweis haben wir auch bei den Kometen. Auch sie weisen eine Mindestgröße von ca. 1 Kilometern Durchmesser auf (30.6.)⁸². Diese Mindestgröße ist abhängig von der Dichte des Körpers. Die Kraft der Reibung wirkt auf seine Oberfläche. Da ein Körper geringerer Dichte bei einer

⁸¹ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Häufigkeit der Asteroiden

S. 190

⁸² John C. Brandt, Robert D. Chapman: „Die Erforschung der Kometen“, Inselverlag Frankfurt am Main und Leipzig, erste Auflage 1997. Originalausgabe W. H. Freeman and Company, New York, USA 1992,

Kometen haben eine Mindestgröße von einem oder mehr Kilometern. S. 218

bestimmten Masse eine größere Oberfläche vorweist, als ein Körper höherer Dichte, benötigt er mehr Masse, um dieser konstanten Reibungskraft etwas entgegenzusetzen. Daher muss er mehr Masse sammeln, um die Strömung der Gasscheibe zu durchdringen. Somit haben die Eisenkörper beim ersten Durchdringen der Gasscheibe eine geringere Masse als die Gesteinskörper. Die Masse der Körper nimmt mit abnehmender Dichte bei der Erstdurchdringung zu.

Die Mindestgröße ist auch abhängig von der Rotation der Gasscheibe, die einen Stern umgibt. Massenreiche Sterne haben sehr hohe Rotationen. Zwangsläufig hatte damit auch ihre Gasscheibe eine größere Abplattung. Damit entstehen von vornherein größere Körper beim ersten Durchdringen der Gasscheibe. Diese Körper haben auf der einen Seite durch die höhere Rotation der Gasscheibe eine größere Abdrift. Da sie aber von vorne herein größer werden, wird auf der anderen Seite auch die Abdrift kleiner. Wenn sich bei heißen und schnell rotierenden Sternen Körper zu Planeten oder zu Sternen entwickeln, werden damit die Abstände der Doppelsterne nicht größer. Die Gasscheibe reguliert demnach die Abdrift der Körper.

2.8.3. Abdrift und Periheldrehung

Nach dem Durchdringen der Gasscheibe sind alle Körper gleicher Dichte auch gleicher Masse. Die Gasscheibe produziert demnach spezifisch der Dichte immer gleich große Körper. Da die Körper spezifisch ihrer Dichte und Masse auf den Gasdruck der Ekliptik geeicht sind, haben sie unabhängig von ihrer Dichte die gleiche Abdrift. Wenn sie sich nicht sehr viel weiter entwickeln würden, trieben sie mit der gleichen Geschwindigkeit vom Stern weg. Das ist der Grund, warum die Körper des Kuiper-Gürtels weitgehend zusammengeblieben sind.

Das Verhältnis der Massen ist bei dieser Erstdurchdringung umgekehrt proportional zur Dichte. Eisen hätte beim ersten Durchdringen der Gasscheibe eine geringere Masse als Gestein.

Die Körper haben spezifisch ihrer Dichte eine Exzentrizität. Diese verhält sich umgekehrt proportional zu ihr. Körper werden bei geringerer Dichte mehr gebremst, wenn sie die Gasscheibe durchdringen. Damit nähern sie sich mehr dem Stern, und kommen so auf eine exzentrischere Bahn.

Die Abdrift wirkt auf die Oberfläche des Körpers. Die Periheldrehung wirkt nur auf die Masse, und sie ist ihr gegenüber um 90° versetzt. Im ersten Fall ist die Ursache die Kraft der Reibung eines Gases und im zweiten sind es die Planeten und Monde, die vorher den Entstehungsbereich verlassen haben. Zudem wirkt der Stern mit seiner Masse, da alle Körper in seiner Nähe entstehen. Dieser Mechanismus erklärt sich mit der Relativitätstheorie. Demnach setzt sich die Periheldrehung aus zwei Faktoren zusammen. Der zweite Faktor ist relativ konstant aber schwach. Der erste Faktor ist der stärkere und er ist abhängig vom jeweiligen Planeten und seinen eingefangenen Monden, die den Entstehungsbereich verlassen haben (28.2.)⁸³.

Beim Durchdringen haben wir es mit ähnlich großen Körpern gleicher Art zu tun, die relativ gleichmäßig in einem Ring den Stern auf elliptischen Bahnen und bei Inklination entsprechend ihrer Klassen umkreisen.

Entwickelt nun einer dieser Körper mehr Masse, werden ihm über die Periheldrehung langsam Körper geringerer Masse zugeschoben. Zeitgleich treiben diese Körper vom Stern weg. Über die Periheldrehung kommt es dazu, dass ein Körper ähnlicher Art mit geringerer Masse von einem größeren eingefangen wird. Dies funktioniert nur, weil die Körper gleicher Art auch die gleiche Inklination besitzen.

⁸³ Friedrich Gondolatsch: „Astronomie I“ Ernst Klett Stuttgart, 1. Auflage 1977,

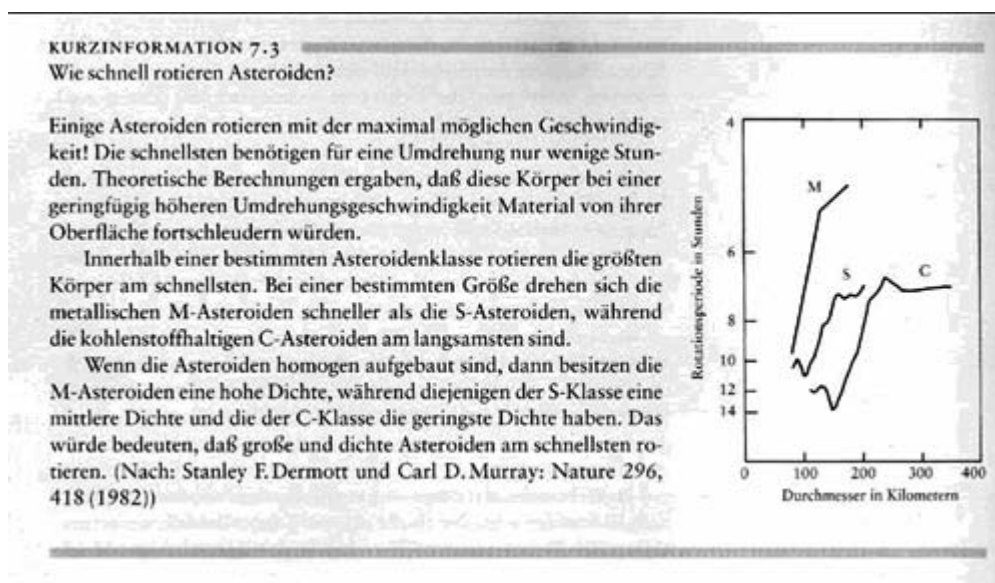
Die Periheldrehung wird bei Merkur durch Venus und Erde ausgelöst, was einem Wert von $531''$ pro 100 a entspricht. Den Restbetrag von $43''$ pro 100 a erklärt die allgemeine Relativitätstheorie über die Masse der Sonne.

Hat ein Körper andere Körper ähnlicher Größe eingefangen, verringert die größere Masse seine Periheldrehung und er fängt immer schneller Körper ein. Damit wächst seine Masse in der ersten Phase vorwiegend über die Periheldrehung. Sie entscheidet letztendlich, ob größere Körper entstehen oder nicht. Hier erkennt man auch, dass sich nur Körper gleicher Art einfangen können, was den Klassen der Asteroiden entspricht. So kann sich zum Beispiel Eisen und Gestein nicht mischen, weil unterschiedliche Inklinationen vorliegen.

Einflüsse, die diese Entwicklung behindern, liegen in der Form der Körper. Da die Körper nicht rund sind, ändert sich im Bezug auf ihre Rotation die Reibung in rhythmischen Schwankungen. Damit ist die elliptische Bahn eines Körpers nicht gleichmäßig und genau so kann sich die Inklination verändern. Das ist für das Zusammentreffen von Körpern in der frühen Phase, wo sie noch klein sind, ungünstig.

2.8.4. Rotationseinbruch der Asteroiden

Treffen Körper zusammen, haben sie spezifisch zu ihrer Größe eine ähnliche Inklination und Rotation. Da sie sich in die gleiche Richtung drehen, würde ihnen ein Zusammentreffen die Rotation zum Teil nehmen. Diese würden sofort wieder zu ihrer Rotation zurückfinden. Bei den Asteroiden ist es jedoch so, dass sie der Rest eines Entstehungsbereiches sind und die Gasscheibe kleiner geworden ist. Sie wandern zudem von der Sonne weg. Damit erfahren die Körper, die weiterhin zusammen kommen, keine entsprechende Reibung über ein verdichtetes Gas. Die Rotationseinbrüche bleiben bei ihnen erhalten. Da sie bestimmte Intervalle von Rotationseinbrüchen spezifisch der Größe und der Dichte vorweisen, kann man daraus Schlüsse ziehen.



Grafik 1: Rotation der Asteroidenklassen (7.4.)⁸⁴.

Die sich bildenden Körper haben beim ersten Durchdringen der Gasscheibe eine Masse spezifisch ihrer Dichte. Das bedeutet in der weiteren Entwicklung, dass jede Klasse der Asteroiden

⁸⁴ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Originaltitel: „Exploration and Discovery in the Solar System.“ Cambridge University Press 1991

Rotation der Asteroiden in Relation zu Masse, Dichte und Größe. Textquelle: Stanley F. Dermott und Carl D. Murray: Nature 296, 418 (1982), S. 210

beim Einfang größerer Körper spezifische Größen erreicht. Daher müssen die Rotationseinbrüche bei den unterschiedlichen Klassen versetzt sein. Körper geringerer Dichte haben beim ersten Durchdringen eine höhere Masse. Der erste Rotationseinbruch setzt daher bei diesen Körpern bei einem größeren Durchmesser ein.

Betrachten wir die Rotationskurve unterschiedlicher Klassen der Asteroiden, so hat die S-Klasse einen Rotationseinbruch bei 100 Kilometern Durchmesser und die C-Klasse bei 140 Kilometern Durchmesser. Da die C-Klasse die geringere Dichte hat bestätigt sich unsere Annahme.

Den zweiten Einbruch hat die S-Klasse bei 150 Kilometern Durchmesser und die C-Klasse hat ihn bei 230 Kilometern Durchmesser. (siehe Grafik 1) Da wäre die nächste „Runde der Periheldrehung“ abgeschlossen. Damit kämen die gleichen Körper an, die sich nur weiterentwickelt haben und größer wurden.

Die Periheldrehung bei den Asteroiden muss man, wie schon angedeutet, im Zusammenhang sehen. Der Asteroidengürtel ist der Rest eines Entstehungsbereiches, der übrig blieb, weil die Sonne kleiner wurde. Dieser Rest wird über die Abdrift, wie alle anderen Körper, von der Sonne weggetrieben. Außerhalb hat Jupiter seine Monde eingefangen. Er hat deswegen ständig an Masse zugenommen. Seine Abdrift wird darüber rapide kleiner. Zwangsläufig nähert sich der Asteroidengürtel Jupiter. Der Einfang dieses gesamten Gürtels wird nur dadurch verhindert, dass Jupiter seinerseits früher Gase aufnimmt. Seine Dichte nimmt dadurch ab und damit erhöht sich seine Abdrift. Der Asteroidengürtel hat sich ihm genähert und dann wieder entfernt. Ein Teil der Asteroiden ist daher auch bei ihm geblieben. Durch diese Nähe hat er den Asteroidengürtel über die Periheldrehung sehr stark beeinflusst. Auf diese Weise erklären sich die Rotationseinbrüche.

2.8.5. Einfang und Massengewinn

Hat ein Körper noch eine geringere Masse von ein paar Kilometern Durchmesser, würde er zu einem größeren getrieben werden und sich ihm über die Strömung langsam nähern. Es gäbe in diesem Sinne keinen Aufschlag. Sie würden quasi aneinander kleben bleiben. Der Gesamtkörper hätte dann ungefähr die Form einer Hantel. Im Asteroidengürtel ist das öfter zu beobachten.

Körper von über 100 Kilometern Durchmesser haben eine Gravitation. Nähert sich ihnen ein kleiner Körper, so würde er schon mit einer gewissen Wucht aufschlagen.

Je größer die Masse eines Körpers wird, umso mehr werden kleinere Körper beschleunigt. Das müsste ab irgendeiner Masse rein theoretisch dazu führen, dass eine Unmenge kleinerer Körper als Monde um einen anderen existieren. Das ist nicht der Fall. Wir finden dort nur einzelne Fälle unter den Asteroiden, weil hier jedoch die Gasscheibe wegen der Verkleinerung der Sonne verschwunden ist.

Die Erklärung, warum es diese kleinen Körper nicht gibt, liegt daran, dass sie die Strömung der Gasscheibe durchdringen müssen. Damit haben sie es mit ständig wechselnden Gasdichten und Strömungsgeschwindigkeiten zu tun. Kleine Körper, die es schaffen, in eine Umlaufbahn von einem Körper mit einigen 100 Kilometern Durchmesser zu gelangen, werden über die wechselnden Strömungen beim Durchdringen der Ekliptik die eingefangenen Körper auf elliptische Bahnen gebracht und kommen zum Absturz. Die Gasscheibe um den Stern sorgt dafür, dass nur größere Körper bestand haben.

Die großen Monde des Saturns bieten wiederum ein Beispiel, wo es kleine Körper geschafft haben in die Bahnen oder zwischen die Bahnen des Saturns zu gelangen (siehe Tabelle: 3). In dieser Beziehung ist Saturn unter den Gasplaneten ein Einzelfall. Das erklärt sich daraus, dass Saturn in den äußersten Regionen des Entstehungsbereiches entstand. Bis er zu einem größeren Planeten wurde, ist er sehr weit hinausgewandert. Dazu kommt, dass die Sonne über die T-Taurikrise kleiner wurde und damit auch ihre Gasscheibe schrumpfte. Damit blieben solch kleine Körper nur in seinem Mondsystem erhalten.

Monde:			
Name	Durchmesser	Entfernung ¹	Umlaufzeit ²
Atlas	60 km	137 670 km (2.28)	14 ^h 27 ^m
1980 S 27	110 km	139 350 km (2.31)	14 ^h 43 ^m
1980 S 26	100 km	141 700 km (2.35)	15 ^h 06 ^m
Epimetheus	120 km	151 420 km (2.51)	16 ^h 41 ^m
Janus	190 km	151 470 km (2.51)	16 ^h 41 ^m
Mimas	390 km	185 400 km (3.08)	22 ^h 37 ^m
Mimas B	10 km	185 400 km (3.08)	22 ^h 37 ^m
Enceladus	500 km	238 200 km (3.95)	1 ^d 08 ^h 53 ^m
Tethys	1 050 km	294 600 km (4.89)	1 ^d 21 ^h 19 ^m
Telesto	34 km	294 600 km (4.89)	1 ^d 21 ^h 19 ^m
Calypso	34 km	294 600 km (4.89)	1 ^d 21 ^h 19 ^m
Tethys D	15 km	294 600 km (4.89)	1 ^d 21 ^h 19 ^m
1980 S 34	15 km	350 000 km (5.81)	2 ^d 10 ^h 34 ^m
Dione	1 120 km	377 400 km (6.26)	2 ^d 17 ^h 41 ^m
Helene	36 km	377 400 km (6.26)	2 ^d 17 ^h 41 ^m
Dione C	20 km	377 400 km (6.26)	2 ^d 17 ^h 41 ^m
1981 S 9	15 km	470 000 km (7.80)	3 ^d 19 ^h 19 ^m
Rhea	1 530 km	527 000 km (8.74)	4 ^d 12 ^h 26 ^m
Titan	5 150 km	1 221 620 km (20.26)	15 ^d 22 ^h 41 ^m
Hyperion	310 km	1 483 000 km (24.6)	21 ^d 06 ^h 38 ^m
Japetus	1 450 km	3 560 000 km (59.0)	79 ^d 07 ^h 56 ^m
Phoebe	200 km	12 950 000 km (214.8)	550 ^d 08 ^h

Tabelle 11-8: Saturnmonde

¹ in Klammern die Entfernung in Einheiten des Saturnradius

² siderische Umlaufzeit

Tabelle 3: Die Monde des Saturn (13.10)⁸⁵

2.8.6. Die Plutinos und der Kuiper-Gürtels

Bei Pluto und seinem Mond Charon findet man die Plutinos. Sie sind eine Reihe von Körpern die sich um Pluto ansiedeln und in zwei Gruppen mit spezifischen Bahnen um die Sonne einteilen lassen. Die eine Gruppe bewegt sich etwas näher zu Neptun und die zweite direkt in der Plutobahn. Die besonderen Eigenschaften dieser Gruppe liegen darin, dass ihre einzelnen Körper mehrere 100 Kilometer Durchmesser haben. Einzelne Körper können bis zu 1000 Kilometer Durchmesser haben (5.10.)⁸⁶. Man spricht in bei diesen Körpern manchmal schon vom Kuiper-Gürtel. Ich wähle für meine Betrachtungen eine getrennte Definition zwischen dem Kuiper-Gürtel und den Plutinos. Der Kuiper-Gürtel ist die Gruppe von Körpern, die sich außerhalb der Plutinos bewegen und als eigene Gruppe zu erkennen sind. Sie unterscheidet sich nicht nur in ihren größeren Bahnen, sondern auch darin, dass sie wesentlich kleiner sind als die Plutinos. Ihre Größen liegen zwischen 25 und 45 Kilometern Durchmesser. Es gibt aber einzelne außergewöhnlich große Körper in dieser Region, von denen ich glaube, dass es reine Eiskörper sind.

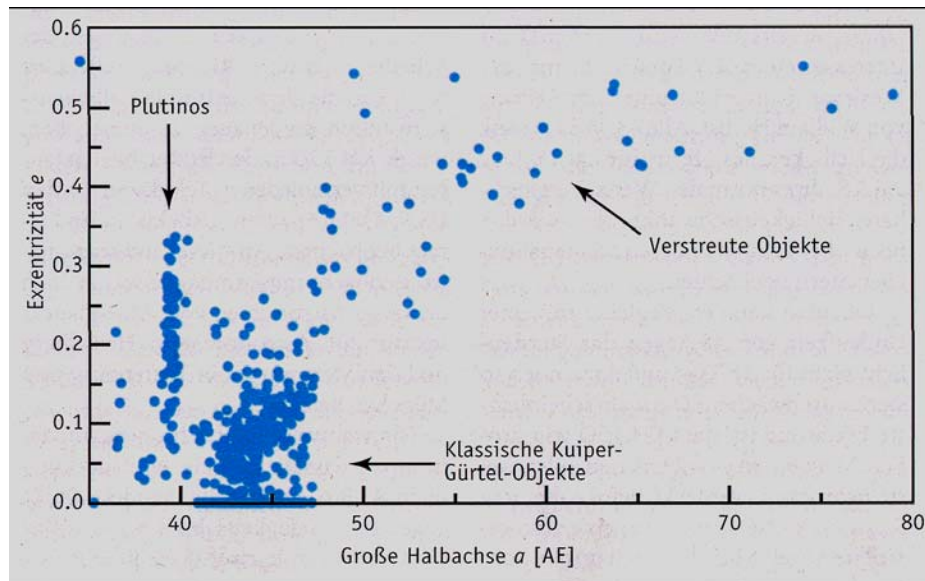
⁸⁵ Erik Wischnewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Tabelle, S. 74

⁸⁶ „Der hellste Bewohner des Kuiper-Gürtels, (NOAO Press Release # 10, 2.7.) Objekt 2001 KX 76 weist bei einer angenommenen Albedo von 7 % eine Größe von 960 km vor. Bei einem Albedo von 4 %, was für die Körper des Kuiper-Gürtels eher der Regel entspricht würde der Durchmesser sogar 1300 km entsprechen. Dieser Körper wäre demnach größer als der Plutomon Charon (1200 km Durchmesser).

Sterne und Weltraum, 10-2001 - S. 827

Diese Körper der Plutinos haben ganz unterschiedliche Exzentrizitäten. Sie dürften ähnlich wie die Inklination einen Hinweis auf die Dichte des jeweiligen Körpers liefern. Hier geht es nach dem Prinzip, je größer die Dichte, umso kleiner ist die Exzentrizität (siehe Grafik 17).



Grafik 17: Kuiper-Gürtel und Plutinos (5.31.)⁸⁷.

Pluto hat sich aus dem schweren Gestein der E-Klasse gebildet. Warum gelang es ihm, sich so früh zu bilden? Die Ursache liegt darin, dass die Körper der E-Klasse beim ersten Durchdringen der Gasscheibe eine höhere Masse haben als Eisenkörper. Mit ihrer höheren Anfangsmasse gelingt es ihnen, zu einem großen Gesamtkörper zu werden, wenn die Rotation steigt. Daher rührt auch der Größenunterschied aller Körper.

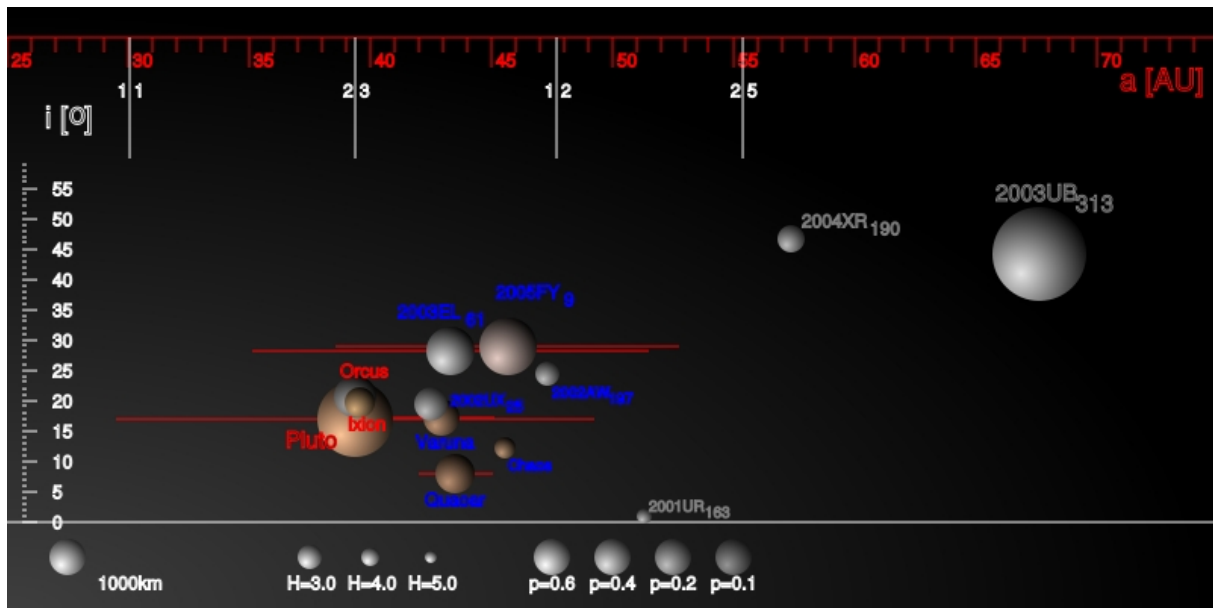
Pluto hat demnach die entsprechende Masse im Kern aus Bestandteilen der E-Klasse erreicht und anschließend gelingt es ihm die Körper der C-Klasse einzufangen. Das liegt daran, dass die E-Klasse im Bezug auf die C-Klasse einen geringen Unterschied in der Dichte vorweist. Damit ist die Inklination dieser beiden Klassen ähnlich. Die E-Klasse hatte damit keine Probleme die C-Klasse aufzunehmen. Somit konnte sich in diesem Abschnitt der Entwicklung Pluto bilden, und zudem einen Mond einfangen. Damit das geschehen konnte, musste auch der Kuiper-Gürtel existieren. Er löste eine gewisse Periheldrehung aus, die zur Bildung größerer Körper führte.

2.8.7. Inklination der Plutinos

Die Plutinos wären demnach die früheste Entwicklung von Körpern die die Mondgröße erreichen. Da ich bei der Entwicklung von 3 wesentlichen Klassen der Körper spreche, müsste diese dort schon vorzufinden sein. Die Klassen unterscheiden sich vor dadurch, dass sie spezifisch ihrer Dichte eine Inklination nehmen. Diese ist umgekehrt proportional. Je dichter der Körper ist, umso geringer ist seine Inklination. Diese Inklinationen liegen tatsächlich vor (siehe Grafik 18). Hinzu kommt, dass diese Inklinationen auch den Winkeln der Magnetachsen der Gasplaneten entsprechen.

⁸⁷ Der Aufbau des Kuiper-Gürtels zeigt, dass die Entstehung größerer Körper um die Sonne in einem bestimmten Abstand, nämlich ab 47 bis 48 AE plötzlich beginnt. Ab 41 AE gibt es keine Körper mehr, die eine Kreisbahn vorweisen. Das wäre im Bereich der Plutinos. Hierzu gibt es zwei Graphiken. (Tilman Althaus)

Die Inklinationen sind in dieser Region des Sonnensystems ursprünglich erhalten geblieben. Im Asteroidengürtel hatte man haben ähnliche Inklinationen existiert. Dadurch, dass Jupiter so viel Masse bekam und zur Ekliptik gewandert ist, habe sich die Asteroiden gesenkt. Über diese Inklinationen ist auch zu erklären, warum sich die Klassen getrennt entwickeln konnten.



Grafik 18: Inklinationen der Körper im Kuiper-Gürtel (23.6)⁸⁸

Körper der M-Klasse, also Körper mit Eisenkern, konnten sich noch nicht zu großen Körpern bilden. Sie sind jedoch als Eisenkörper schon in geringsten Inklinationen vorhanden.

Körper, die im Bereich von etwas über 40° Inklination liegen sind Körper der C-Klasse, die große Mengen Eis gesammelt haben. Dadurch nehmen sie noch mal an Dichte ab und vergrößern die Inklination. Bezieht man diese frühe Entwicklung des Sonnensystems auf die Exoplaneten bei kühlen Sternen, das wären Sterne mit 0,3 bis 0,4, so wäre der Kandidat 2003UB-313 ein Körper, dem es gelingt bei solch kleinen Sternen zum Gasplaneten zu entwickeln (siehe Kapitel zu den Exoplaneten).

2.8.8. Kuiper-Gürtel

Im Kuiper-Gürtel fällt auf, dass sich ab 47 AE mit einem Mal Körper unterschiedlichster Exzentrizität und Inklination bilden (siehe Grafik 18). Meine Deutung ist, dass die Gasscheibe eine Strömungsgeschwindigkeit erreicht hat, wo sie sich mit einem Mal abplattet. Erst damit werden kondensierte Körper gezwungen, sich auf bestimmten Ebenen oberhalb und unterhalb der Ekliptik abzusetzen. Diese Körper brauchen erst einmal eine bestimmte Masse, um die Gasscheibe zu durchdringen. Über die Gasscheibe werden nun auch Substanzen unterschiedlicher Dichte und unterschiedlicher Kondensationstemperatur in bestimmte Regionen auf beiden Seiten der Ekliptik trennt. Somit beginnen sich die einzelnen Klassen wie sie bei den Asteroiden zu finden sind, zu bilden. Was ihnen fehlt, ist ein weiterer Anstieg der Rotation. So können sich nicht nur einzelne kleine Körper bilden.

⁸⁸ Inklinationen der Plutinos , aus dem Internet

<http://de.wikipedia.org/w/wiki.kuiper-gürtel>

Körper gleicher Exzentrizität entsprechen damit auch gleicher Klasse. So bestehen z.B. die Körper ohne Exzentrizität aus Eisen und entsprechen der M-Klasse der Asteroiden. Die Exzentrizität wächst in dieser Gruppe deswegen so stark an, weil Körper mit Gesteinskern größere Mengen Eis als äußere Hülle haben. Das liegt ganz einfach daran, dass sie im äußeren Entstehungsbereich durch die Region wandern, in der sich Kometen bilden.

2.8.9. Körper außerhalb des Kuiper-Gürtels

Bis sich die Körper höherer Dichte im Kuiper-Gürtel entwickeln, dauerte es eine längere Zeit. In dieser Zeit entwickeln sich in der Region wo Kometen entstehen, die Körper völlig ungestört. Damit konnten die Kometen zu einem großen Körper zusammen finden. Dieser Körper, den man Sedna nennt, hätte mindestens einen Durchmesser von 1300 Kilometern und ein Perihel von 76 AE. Damit befindet er sich außerhalb des Kuiper-Gürtels. Er hat sich wegen der geringeren Dichte noch mal abgesetzt (23.4.)⁸⁹.

Ein Grund, warum sich dieser Körper leichter bildet konnte, als Körper höherer Dichte liegt darin, dass Körper geringerer Dichte eine größere Masse benötigen, um die Gasscheibe zu durchdringen.

In späteren Phasen ist es ständig so, dass Körper bei ihrer Entwicklung die Region, in der Kometen entstehen, stören. So können nur noch kleine Körper entstehen.

2.8.10. Kometen

Die Kometen sind in der äußeren Region des Entstehungsbereiches entstanden. Was diesen Entstehungsort unterstützt, liegt darin, dass sie Enstatit und Kalzium-Aluminium-Reiche Einflüsse (CAI's), die 1400°Celsius erwarten. Bei den Kometen finden sich die gleichen Substanzen, wie bei den Meteoriten (26.4.)⁹⁰. Das spricht dafür, dass sie in der Nähe des Sterns entstanden sind. Auch die neuesten Auswertungen vom Kometen Wild 2 sprechen dafür, dass die Kometen aus dem Asteroidengürtel stammen, weil sie dem Material der Meteoriten sehr ähnlich sind (27.2.)⁹¹.

Aufgrund der geringen Dichte, die 0,2 g/cm³ entsprechen könnte, können sie eine sehr hohe Inklination und Exzentrizität erreichen (30.1.)⁹². Diese hohe Inklination kann dazu führen, dass sie in

⁸⁹ Objekt ist mit einem Perihel von 76 +-7 AE gefunden. Der Aphel liegt bei ca. 1000 AE, und die große Halbachse liegt bei ca. 532 AE. Das Objekt hat zwischen 1300 und 1800 Kilometern Durchmesser. Die Rotationsperiode liegt bei ca. 40 Tage. Die siderische Periode ist ca. 10500 Jahre. Die Inklination beträgt 11.9°.

<http://de.wikipedia.org>

⁹⁰ Süddeutsche Zeitung

Im Kometen Wild 2 sind Enstatite gefunden worden und CAIs, also kalzium- und aluminiumsreiche Mineralien. Diese müssen bei 1400° Celsius entstanden sein. 15.12.06; S. 20

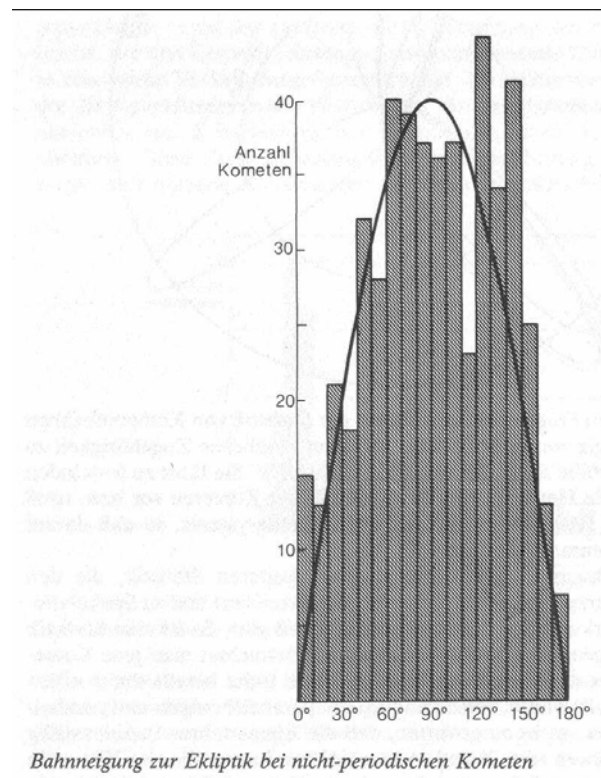
⁹¹ Frankfurter Allgemeine

Den Proben des Kometen Wild 2 ist zu entnehmen, dass die Kometen aus dem Asteroidengürtel stammen. (Entnommen aus der Zeitschrift Science.), 30.1. 2008 - Nr. 25 S. N1

⁹² John C. Brandt, Robert D. Chapman: „Die Erforschung der Kometen“, Inselverlag Frankfurt am Main und Leipzig, erste Auflage 1997. Originalausgabe W. H. Freeman and Company, New York, USA 1992,

Die Dichte des Kometen Halley könnte bei 0,2 g/cm³ liegen. S. 71

die Gegenläufigkeit umkippen. Die Ursache ist wieder die Gasscheibe, die die Körper einmal in einen großen Abstand bringt und zum anderen stark abbremst. Damit nähern sie sich sehr stark dem Stern und kommen auf eine stark exzentrische Bahn.



Grafik 19: Langperiodische Kometen (4.6.)⁹³.

Wenn Kometen einmal hohe Inklinationen erreichen, trifft sie die Strömung der Gasscheibe nicht mehr von vorne und bremst sie, sondern sie trifft sie mehr und mehr von „oben“ oder von der Seite und lenkt sie auf diese Weise in die gegenläufige Bahn. Sind sie einmal umgekippt, treffen sie wieder auf die Gasscheibe. Damit stauen sich Körper bei 150°, und wir finden dort mehr Kometen als zum Beispiel bei 30° (siehe Grafik 19). An dieser Verteilung erkennt man, dass sie in der Nähe des Sterns entstanden sein müssen, wo die Gasscheibe existierte. Diese Struktur weisen die langperiodischen Kometen auf.

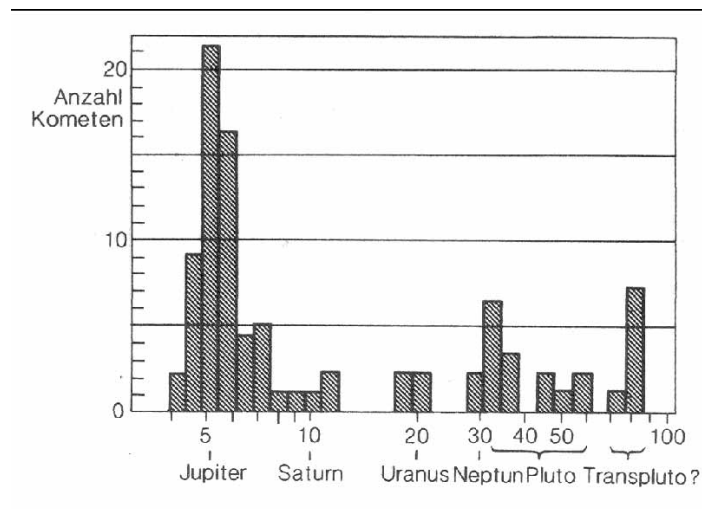
Neben den langperiodischen Kometen gibt es kurzperiodische Kometen. Diese teilt man ein in die Kometenfamilien (siehe Grafik 20). Man kann die kurzperiodischen Kometen immer einem Planeten zuordnen. Diese haben eine andere Häufigkeitsverteilung als die langperiodischen Kometen. Ihnen fehlen zum großen Teil die gegenläufigen Kometen. Diese gegenläufigen Kometen sind aus meiner Überlegung von den Gasplaneten eingefangen worden und bilden jeweils immer das äußere Kleinmondsystem. Die Gasplaneten haben diese Körper über ihre Gasscheibe gebremst und eingefangen. Daher besteht der größte Teil der Kleinkörper in großen Bahnen bei den Gasplaneten aus gegenläufigen Kometen.

⁹³ Argyris Sfontouris: „Kometen - Meteore - Meteoriten“ Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich, 1986.

Nichtperiodische und kurzperiodische Kometen in der Häufigkeit und ihrer Inklination.

S. 128 f,

Eingefangen wurden meist nur die gegenläufigen Kometen, weil sie in der Gasscheibe des Planeten stärker gebremst wurden und die mitläufigen wurden in planetenspezifische Bahnen umgelenkt. Demnach kamen die langperiodischen Kometen durch die Gasscheiben der jeweiligen Gasplaneten in ihre kleineren Bahnen und bildeten die Kometenfamilien.



Grafik 20: Kometenfamilien (4.2.)⁹⁴

Da die Gasplaneten sich in der Nähe der Ekliptik aufhalten, konnten sie nur Körper geringer Inklination erreichen. Sie haben daher die größte Häufigkeit von 0° bis 30° und treten ab 60° nur noch vereinzelt auf (siehe Grafik 21).

Bei den kurzperiodischen Kometen tritt jedoch ein Problem auf, und dies bezieht sich auf den Kometen in besonders kleinen Bahnen. Hier handelt es sich um die Jupiter- und Saturnfamilie. Diese Kometen verlieren ständig an Masse und haben daher eine Lebensdauer von kaum einer Million Jahren (30.3.)⁹⁵. Damit kann es nicht sein, dass sie aus der anfänglichen Entwicklung des Sonnensystems stammen. Besonders die Kometen der Jupiterfamilie müssten sich schnell verbraucht haben.

Betrachtet man jedoch, die eingefangenen Kometen bei der Uranusfamilie, so haben sie Durchmesser von 20 bis 190 Kilometern. Der Erklärungsansatz liegt demnach in der Größe. Die Kometen waren viel größer. Sie sind nur bei Jupiter und Saturn klein geworden. Die Kometenfamilien bei den äußeren Gasplaneten sind größer. Das erkennt man an den eingefangenen äußeren Kleinmonden des Uranus (19.1.)⁹⁶. Sie entsprechen der ursprünglichen Größe. Weil sie größer waren

⁹⁴ Argyris Sfountouris: „Kometen - Meteore - Meteoriten“ Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich, 1986. Kometenfamilien S. 128

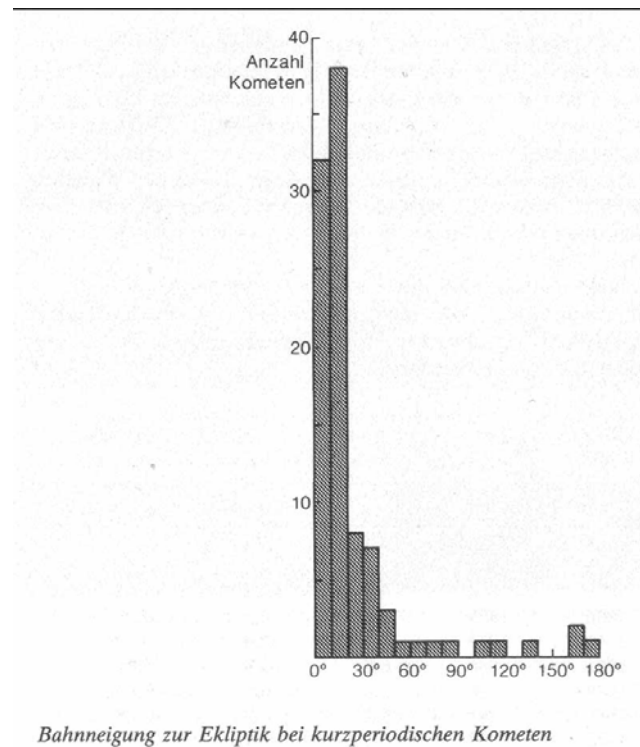
⁹⁵ John C. Brandt, Robert D. Chapman: „Die Erforschung der Kometen“ Inselverlag Frankfurt am Main und Leipzig, erste Auflage 1997. Originalausgabe W. H. Freeman and Company, New York, USA 1992, Kometen verlieren einige Meter an Durchmesser bei einer Umrundung. Ein Komet mit 10 Kilometern Durchmesser, wie Halley, würde sich in weniger als einer Million Jahre aufbrauchen. S. 83

⁹⁶ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993 Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems. - S. 47 f

und ihre Periode ebenfalls, kann man davon ausgehen, dass sie aus der anfänglichen Entwicklung stammen. Das bedeutet, die erste Durchdringung der Gasscheibe liegt bei 20 bis 40 Kilometer Durchmesser.

Jupiter kann keine Kometen einfangen, weil er keine Gasscheibe mehr hat. In der Entstehung hatte er eine Gasscheibe. Diese Gasscheibe war die Bremse für die Kometen. Die langsame Ausbremsung führt zu einem großen Abstand zu Jupiter.

Das passt auch zur Dichte, denn Gesteinskörper haben eine Dichte von etwa $3,8 \text{ g/cm}^3$ und die Dichte von Kometen liegt bei $0,2 \text{ g/cm}^3$. Das Zahlenverhältnis steht 1 zu 20. Die Durchdringungsgröße des Gesteins liegt etwas bei 1 Kilometer Durchmesser. Der Zahlenwert passt genau zusammen. Demnach ist nur die Anfangsgröße unverstanden.



Grafik 21: Kurzperiodische Kometen (4.6.)⁹⁷

Weil die gegenläufigen Kleinmonde der Gasplaneten nach dem Einfang mit den Gasplaneten aus der Nähe der Sonne weggewandert sind, und nie wieder in ihre Nähe kamen, wären sie zur Altersbestimmung von hoher Bedeutung. Am interessantesten wären die gegenläufigen Kleinmonde von Uranus. Sie hätten die älteste Datierung im „erreichbaren“ Sonnensystem. Sie wären demnach älter als die kohligen Chondrite mit 4,6 Milliarden Jahren. Sie wären vorher entstanden, und würden beweisen, dass die Körper im Sonnensystem hintereinander standen sind.

⁹⁷ Argyris Sfountouris: „Kometen - Meteore - Meteoriten“ Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich, 1986. Nichtperiodische und kurzperiodische Kometen in der Häufigkeit und ihrer Inklination. S. 129 f,

2.9. Große Monde und Planeten

2.9.1. Die Klassifikation von Monden und Planeten

Die großen Monde und Planeten sind gleichwertige Körper. Welcher Körper Planet oder Mond wird, ist nur eine Frage des Einfangzeitpunktes. Unter diesen Körpern gibt es unterschiedliche Grundgrößen und damit auch eine eigene Kategorie von Körpern. Jede Kategorie setzt sich aus den drei wichtigen Klassen der Asteroiden zusammen. Um das zu verstehen muss man den Asteroidengürtel vor Augen haben. Dort hat jede Klasse aufgrund ihres Kondensationspunktes einen bestimmten Bereich in dem sie durch die Kondensation entsteht.

Wie schon beschrieben, entsteht jede Klasse der Asteroiden für sich in ihrem Bereich. Daraus bilden sich jeweils zwei Körper, die durch den Entstehungsbereich wandern und damit Material einer anderen Klasse sammeln. Die unterschiedlichen Schichten eines Planeten oder Mondes entstehen getrennt, weil er durch die unterschiedlichen Regionen des Entstehungsbereiches wandert und dort die Körper einfängt.

Die Körper gelangen durch die Abdrift, oder die Änderung der Inklination, in eine andere Region und Klasse des Entstehungsbereiches. Damit stören sie die Entwicklung der anderen Klasse. Die Änderung der Inklination tritt nur bei der M-Klasse auf, also den Körpern mit einem Kern aus Eisen-Nickel.

Man unterscheidet die Arten von Monden. Es gibt, wie bei den Asteroiden die Körper der C-, der E- und der M-Klasse benannt. Die drei Arten beziehen sich auf den Kern. Ganymed oder Io wären zum Beispiel Körper der M-Klasse. Sie haben einen Kern aus Eisen-Nickel. Die Monde des Uranus wären zum Beispiel Körper der C-Klasse. Sie hätten einen leichten Silikatkern. Pluto und Triton sind Körper mit dem Kern der E-Klasse.

Die Entwicklung einzelner Kategorien von Monden ist anhängig von der Gasscheibe und ihren eigenen Eigenschaften. So haben die Monde mit Eisenkern einen späten Entwicklungsbeginn, nehmen dann aber einen sehr starken Einfluss auf das ganze System.

Es geht daher nur darum welche Kategorie von Monden sich in einer bestimmten Entwicklungsphase des Sonnensystems bevorzugt bilden. Ist das verstanden, kann man die gesamte Struktur der Entstehungsfolge von Körpern verstehen.

Im äußern Sonnensystem entsteht die E- und C-Klasse. Im mittleren Bereich findet sich nur die C-Klasse und im inneren Bereich dominiert nur die M-Klasse. Diese strukturelle Verteilung gilt dann noch zu erklären.

In diesem Kapitel muss kurz auf die Gasaufnahme eines Planeten Bezug genommen werden, um den Zusammenhang verständlich zu machen. Es wäre aber eigentlich Thema späterer Kapitel. Hier sollte es noch um die Entwicklung von großen Festkörpern gehen.

2.9.2. Mond oder Planet?

Innerhalb der Gasscheibe um einen Stern bilden sich zu beiden Seiten dieser Scheibe getrennt eine Reihe von Körpern mit ähnlicher Zusammensetzung, damit auch ähnlicher Dichte und ähnlicher Inklination. Über die Periheldrehung werden kleinere Körper zu größeren Körper gedreht, und mit der Zeit setzt sich auf beiden Seiten je ein großer Körper durch. Damit entstehen paarweise Körper, die den Entstehungsbereich und den Stern verlassen.

Diese beiden Körper haben demnach erst einmal nur einen Teil der anderen Körper eingefangen, und mit ihnen kreisen diese vielen kleineren Körper und verlassen den Entstehungsbereich.

Stoßen diese beiden Körper nun auf einen Planeten mit Monden, werden sie der Reihenfolge nach eingefangen. Dabei ist der Planet in der Lage, diese kleinen Körper einzufangen, die von den Monden nicht eingefangen werden können.

Nachdem ein Paar eingefangen wurde, dauert es wieder eine Zeit, bis sich das nächste Paar entwickelt. In dieser Zeit wandert auch der Planet mit seinen Monden weiter. Damit wird der Weg für das nächste Paar länger. Das bedeutet, sie werden in dieser Zeit größer.

Betrachtet man unter dem Aspekt das Uranussystem, so sieht man bei ihm den kontinuierlichen Sprung in der Größe der Mondpaare um ca. 500 Kilometer Durchmesser. Das gleiche findet sich bei Saturn, wenn man Titan und Hyperion mal bei Seite lässt und auch bei Jupiter, nur sind diese Paare größer. Auf die vorher beschriebene Weise kann man erklären, wie diese Paare, die ja einem kategorischen Prinzip entsprechen, zustande gekommen sind.

Bei dieser Betrachtung kommt man zu der Frage, warum bei der Größe der Monde von 1500 km Durchmesser die Entwicklung aufhört (19.1.)⁹⁸. Warum bildet sich ein neues System? Der Grund liegt darin, dass der Planet nach mehreren Monden, ab der Größe von 1500 Kilometern, eine so hohe Masse gewonnen hat, dass er an druckbelasteter Dichte zunimmt, seine Inklination verringert und mit der Gasaufnahme beginnt. Er tritt in den Schutz der Gasscheibe, wo der Sonnenwind keinen Einfluss hat. Damit verliert er an Dichte, seine Abdrift wird größer und er wandert aus der Region weg. An der Stelle etabliert sich ein neues System.

Nach dem Einfang seiner Monde hat er im Bezug zur Sonne oder zum Stern auch eine bestimmte Position. Bei den Exoplaneten findet man eine Anhäufung bei Perioden von 4 Tagen (Grafik 27).

2.9.3. Einfang der Monde und Masse des Planeten

Wenn sich zwei Körper in Mondgröße einfangen, nähert sich der kleinere Körper dem größeren Körper. Der größere Körper verzögert seine Geschwindigkeit und der kleinere beschleunigt. Dadurch geht der eine auf eine äußere und der andere auf eine innere Bahn. Je größer die Masse und damit auch die Gravitation beider Körper, desto größer ist der Unterschied der Bahnveränderung.

Der größere Körper gewinnt schneller an Masse, weil er die größere Gravitation hat. So verlagert er den gemeinsamen Schwerpunkt immer mehr zu sich hin, bis der Schwerpunkt in ihm liegt. Hat er das einmal erreicht, gewinnt er deswegen an Masse, weil sich alle eingefangenen kleinen Körper nach dem Einfang um ihn drehen. Beim Durchdringen der Gasscheibe um die Sonne stürzen sie auf ihn ab. Der zweite Körper (Mond) wird dadurch in seinem Massengewinn benachteiligt, weil sich die Körper um den Planeten drehen. Nicht nur die Gravitation ist der Nachteil für den Mond, sondern auch seine Position. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Saturnmonde, so sind bei ihnen zwei Arten von Einschlagskratern vorzufinden (9.2.3.)⁹⁹. Ein gutes Beispiel ist dabei Dione. Die erste Generation sind große Krater, und dann folgen in der zweiten Generation viele kleine Einschlagskrater. In dieser ersten Phase ist der Mond noch alleine im Entstehungsbereich unterwegs. Nach dem Einfangen drehen sich alle Körper um den Planeten. Früher oder später stürzen sie wegen

⁹⁸ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

⁹⁹ Laurence A. Sonderblom, Torrence V Johnson: „Die Monde des Saturn“ Spektrum der Wissenschaft 3/1982

Dione hat zwei Kategorien von Einschlagskratern und unterschiedliche Strukturen von Bug und Heck. Das Heck ist von hellen Streifen überzogen, die sich durch die Krater ziehen.

S. 160 f

der ungleichmäßigen Strömungsverhältnisse ab. Nach dem Einfang durch den Planeten ändert sich diese Situation und der Mond fängt nur noch kleine Körper ein.

Gehen wir zurück zu unserem ersten Paar eingefangener Körper, bei denen sich einer ins Zentrum setzt, so nähern sich diesem äußeren Paar zwei weitere Körper, die den Entstehungsbereich verlassen haben. Das äußere System hat schon an Masse gewonnen, weil es über die größere Gravitation verfügt. Diese ist damit auch die Ursache, warum der ankommende Körper eine größere Bahnveränderung erfährt. Das führt zu einer größeren Umlaufbahn um den Planeten. Unter diesem Blickwinkel ist der Radius der eingefangenen Monde ein Maß für die Masse des Planeten zum Einfangzeitpunkt.

2.9.4. Jupiters und Saturns Massen beim Einfang ihrer Monde

Ein Beispiel für die abnehmende und ansteigende Abdrift eines Körpers wäre Jupiter mit dem Einfang seiner Galileischen Monde. Wenn er Io einfängt, ist er noch mitten im Entstehungsbereich. Als er Europa einfängt, dürfte er da gewesen sein, wo die Kometen entstehen, also in der äußeren Region. In diesem Bereich hat er Ganymed eingefangen. Jupiter wird große Mengen Wasser gesammelt haben, während er die äußeren drei Galileischen Monde einfing. Dazu kam das Material, was die Monde mitbringen. Seine Dichte nimmt schon deswegen zu, weil er das Wasser der Kometen sammelt. Durch diese steigende Masse des Planeten nimmt die Abdrift ab und sie geht gegen null, nachdem er Callisto, also seinen vierten Mond eingefangen hat. Er dürfte nicht allzu weit vom Entstehungsbereich entfernt gewesen sein.

Betrachtet man dabei den Abstand der Monde von Jupiter, so wird er nach außen hin größer. Das heißt, die Masse des Planeten steigt mit jedem weiteren eingefangenen Mond immer schneller an. Weil der Planet an Masse und Gravitation zunimmt, wird seine Gravitation größer und er sammelt schneller an Masse, weil er aus einem größeren Umfeld Körper einfängt.

Das verhält sich zum Beispiel bei den ersten Monden des Saturns anders. Saturn ist, entsprechend seiner Monde, selbst noch kleiner und daher nimmt seine Masse am Anfang noch langsamer zu. Damit steigen die Abstände auch in einem geringeren Maß.

Nachdem Callisto entstanden ist, kommt die Sonnenkrise. Es dauert dann noch eine Zeit bis Jupiter das Mondsystem eingefangen hat und dann beginnt er Gase aufzunehmen. Der Entstehungsbereich kühlt aus. Der Asteroidengürtel als Rest des Entstehungsbereiches wandert zu Jupiter. Mit der Gasaufnahme sinkt die Dichte, und die Abdrift setzt wieder ein. Der äußere Bereich der Asteroiden erreicht Jupiter. Damit wird eine Reihe dieser Körper in 11 Millionen Kilometern Abstand zu Jupiter eingefangen. Dieser große Abstand, den die Kleinmonde gegenüber Callisto haben, ist das Zeichen, dass die Gasaufnahme begonnen hat. Hier hat die T-Taurikrise der Sonne eingesetzt. Damit gewinnt der Planet auf eine andere und sehr schnelle Weise Masse.

Jupiter ist durch seine große Masse und seine großen Dichte zur Ekliptik gewandert. Damit ist seine Inklination sehr klein geworden. Die Asteroiden haben die Inklination von 26° bis 28° gehalten und werden so eingefangen.

Jupiter verliert in der weiteren Entwicklung durch die Gasaufnahme an Dichte und seine Abdrift wird größer als die der Asteroiden. Zum Einfangzeitpunkt hat er mit dem Gasmantel eine Dichte, die denen der Asteroiden entsprach. Im Schnitt haben sie eine Dichte von 3 g/cm^3 .

Während dieser Zeit hat sich der Entstehungsbereich neu gebildet in dem die inneren Planeten entstehen. Es dauert aber eine Weile bis neue Körper und Kometen entstehen. In der Zeit steigt die Masse Jupiters weiter an. Die gegenläufigen eingefangenen Kometen finden sich in einem Abstand von über 20 Millionen Kilometern. Diese Abstände der Kometen sprechen von einer großen Gasmasse, die er mittlerweile gesammelt hat. Seine Dichte hat abgenommen, und damit entfernt er sich von der Sonne.

Bei Saturn ist der Abstand der Monde etwas anders als bei Jupiter. Bis Rhea nehmen ihre Abstände in kleinerem Maße zu. Von Rhea zu Titan verdoppelt er sich. Hyperion nimmt eine

Sonderrolle ein, und bei Japetus haben wir es noch mal mit mehr als einer Verdoppelung zu tun (5.28.) (siehe Tabelle 5).

Die Interpretation kann nur sein, dass Saturn früher mit der Gasaufnahme beginnt. Sie beginnt, bevor diese letzten beiden Monde eingefangen worden sind. Auch hier ist die Ursache die Verkleinerung der Sonne und ein abnehmender Sonnenwind. Dadurch, dass die Masse von Saturn so schnell steigt, ist die Anziehungskraft auf den nächsten Körper größer, und somit wird auch die Bahn des Mondes größer. Die Bahngröße des Mondes ist immer ein Maß für die Masse des Planeten zum Einfangzeitpunkt.

2.9.5. Die T-Taurikrise und die Entwicklung des Jupitersystems

Die Körper des Jupiters sind im Gegensatz zu den vorigen Körpern des Saturns wesentlich höherer Masse. Saturn hat selbst mit den eingefangenen Monden noch keine so große Masse. Durch die T-Taurikrise nimmt Saturn früher Gase auf und gewinnt damit stark an Masse. Das verstärkt die Periheldrehung und damit steigt, die Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei Körper mit Eisenkern früher gegenseitig einfangen.

Die T-Tauriphasen eines Sterns unterstützen demnach das frühe Entstehen von Jupitersystemen. Damit finden sich viele Systeme dieser Art in einer sternnahen Position. Das bezieht sich auf Sterne ab 0,8 Sonnenmassen, wo die T-Tauriphasen eine bedeutende Rolle einzunehmen beginnt. Bei ihnen ist das effektive Wirken der T-Tauriphasen zu erkennen.

2.9.6. Das Zusammentreffen von Planeten untereinander

Es gibt zwei Fälle aus meinen bisherigen Überlegungen, bei denen ein Planet mit einem oder mehreren Monden ein anderes System eingeholt haben könnte. In dem einen Fall ist es Hyperion. Er könnte ein Mond von Titan gewesen sein und damit hätte sich ein kleines Planetensystem einem größeren genähert. Im zweiten Fall ist es Neptun. Er ist in kleinere Planetensysteme getrieben und hat sie von außen eingefangen.

Die Ursache ist die frühe Gasaufnahme des massenreicheren Systems. Sie führt zu einer größeren Abdrift und damit treibt es schneller zu kleineren Planetensystemen mit höherer Dichte.

Als sich Titan Saturn näherte, ist Hyperion in eine immer stärkere elliptische Bahn gelangt. Bei seiner letzten Umrundung hat er die Gravitation beider Körper genutzt und ist in einem Swing-by in eine Umlaufbahn des Saturns gelangt. Kurz danach folgte Titan. Hyperion nutzt in diesem Sinne die Gravitationsfelder beider Körper. So ist er wohl etwas früher eingefangen worden, hat aber die größere Bahn erreicht. Durch den Schwung bekam er auch eine höhere Exzentrizität.

An dieser Betrachtung erkennt man auch, dass kleinere Systeme von größeren Systemen zerrissen werden. Nähert sich ein kleines System von innen, werden die Elemente einzeln beschleunigt und kommen in die gleiche Rotationsrichtung wie die Monde des großen Systems. Nähert sich ein großes System einem kleinen System, so werden die Körper der Reihe nach aus dem kleinen System getrennt und in der Geschwindigkeit verzögert und kommen in die gegenläufige Richtung des großen Systems. So erklärt sich die Rotationsrichtung von Triton im Neptunsystem.

Triton wird nicht der einzige Körper gewesen sein, sondern vor ihm werden mehrere Körper von Neptun eingefangen worden sein. Die Ursache liegt in der Gasaufnahme der Planeten. Da Neptun die größere Masse gegenüber den äußeren Systemen besaß, senkt sich seine Inklination und die Gasaufnahme beginnt. Mit der Gasaufnahme verlor er an Dichte und erhöhte seine Abdrift. Kleinere Systeme konnten das nicht und so verloren sie weniger an Dichte.

Neptun bewegt sich in das äußere Kleinplanetensystem fängt Mond für Mond ein. In dieser Zeit nimmt er noch Gase auf. Körper, die eingefangen werden, bewegen sich gegen die Gasrichtung, erfahren eine Reibung und erleiden auf diese Weise einen stetigen Bahnverlust. Damit näherten sich dem vorhandenen Mondsystem, was sich in anderer Richtung dreht. Nähern sich zwei große Körper,

die in entgegengesetzter Richtung drehen, nehmen sie sich ihre Geschwindigkeit und stürzen beide ab. Auf diese Weise sind die Monde paarweise abgestürzt.

Die Begründung, warum Triton erhalten blieb, liegt daran, dass die Gaszufuhr versiegte. Damit wurde er nicht mehr gebremst und blieb erhalten.

2.9.7. Die abnehmende Dichte von Pluto bis Japetus

Wenn die Planeten und Monde hintereinander entstanden sind, fällt eines auf: Von Pluto bis Japetus nimmt die Dichte der Körper ständig ab. Das hat auch etwas damit zu tun, welche Arten von Monden oder Planeten sich zu einer bestimmten Zeit entwickelt haben. Um das in der Entwicklung genauer beobachten zu können, müssten die Monde des Neptun noch erhalten sein und es wäre auch schön, hätte man die Körper, die zwischen Triton und Neptun unabhängig um die Sonne kreisten. Es bleibt der indirekte Hinweis, dass die Dichte von Neptun sehr viel höher ist, als die des Uranus. Ein Teil der Dichte ergab sich daraus, dass Monde und Planeten in ihm abgestürzt sind. Rechnet man diese ab, dürfte sie immer noch höher gewesen sein, als die des Uranus und seiner Monde.

Ein Nachweis für die Kerndichte Neptuns ist, wie schon erwähnt, die Neigung der Magnetachse von $17,4^\circ$ gegenüber der Ekliptik. Das ist ein Zeichen dafür, dass er der E-Klasse der Asteroiden zugehörig ist. Demnach war er ein Körper wie Pluto. Triton entspricht der gleichen Klasse, und es wird noch ein weiterer Körper der E-Klasse zwischen Pluto und dem Neptunsystem existiert haben. Da auch sie paarweise entstanden sind, existierten vier Körper dieser Art. Hinzu kommen Monde, die aus der C-Klasse stammen. Davon hatte Triton einen und der Unbekannte könnte zwei gehabt haben. Nach Neptun werden nur noch Körper der C-Klasse entstanden sein. Die starke Veränderung der Dichte im Sonnensystem setzt nach diesen Betrachtungen bei Neptun ein.

Die Ursache für dieses plötzliche Dichtegefälle ist das Auftreten der M-Klasse. Ihre Entwicklung ist nur möglich, weil sich Eisenkörper mit ihrer geringeren Inklination gegenüber Gesteinskörpern und Eiskörpern auf anderen Bahnen befinden. Sobald ein Eisenkern einen Gesteinsmantel an sich bindet, wird seine Dichte geringer, die Inklination größer, und damit stört er die Entwicklung der Gesteinskörper und beendet sie. Er schneidet den inneren Entstehungsbereich, da wo sich die E-Klasse bildet, vom äußeren Bereich ab. Damit können sich nur noch Körper der C-Klasse bilden. Das ist auch der Grund, warum der Sprung im Wert der Magnetachsen zwischen Uranus und Neptun existiert. Auch Neptun und Saturn waren anfangs Körper der C-Klasse. Indem die beiden Körper mit Eisenkern weiter hinaus wandern, führt das zu einem weiteren Dichteverlust, den man an den Monden von Uranus bis Saturn erkennen kann (19.1.)¹⁰⁰. Erst danach ordnen sich die beiden Körper ein.

Diese Körper sind Titan und Jupiter. Titan ordnet sich dem Saturnsystem zu, während Jupiter mit Io das neue Mondsystem bildet. Ab diesem Zeitpunkt bilden sich nur noch Körper mit Eisenkern, denn jeder weitere Körper nimmt an Inklination zu und fängt damit alle Gesteinskörper hinter ihm ein.

Dieser Gedanke macht insofern Sinn, da die M-Klasse der Asteroiden zwischen der E- und der C-Klasse liegt. Indem sich diese M-Klasse weiter entwickelt, schiebt sie sich zwischen diese beiden Klassen. Hat sie sich einmal in diese Region geschoben bewegt sie sich weiter in die Richtung des äußeren Entstehungsbereichs. Titan und Jupiter beschneiden den Bereich schon recht früh. Sie ordnen sich aber erst in diese Reihe von Körpern ein nachdem Rhea und Japetus entstanden sind.

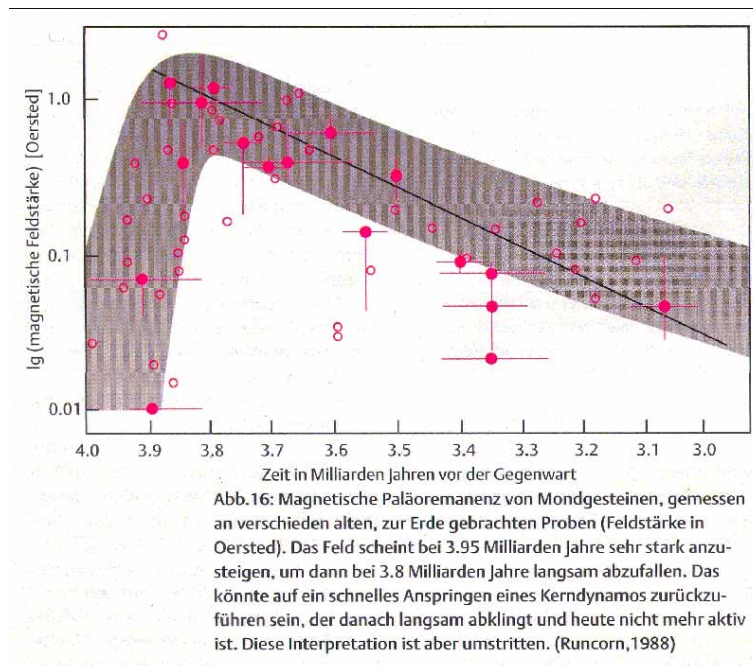
¹⁰⁰ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

2.9.8. Magnetfelder und Rotation der Monde

Wenn wir annehmen die Monde seien eingefangen, müssten sie eine Rotation gehabt haben. Ein Magnetfeld könnte dafür ein Hinweis sein. Ganymed hat ein Magnetfeld. Es würde eine mögliche Rotation unterstützen. Beim Erdmond ist keines mehr vorhanden, aber er hatte eines gehabt. Dem Mondgestein ist zu entnehmen, dass dieses Magnetfeld einmal sehr schnell angestiegen ist und dann langsam verloren ging (siehe Grafik 22). Das langsame Abklingen wäre der Zeitpunkt nach dem Einfang durch die Erde. Dadurch verliert er seine Rotation von außen. Das bremst seinen Kern, bis er endlich erstarrt.



Grafik 22: Magnetische Eigenschaften des Mondgesteins (5.4.)¹⁰¹

2.9.9. Einschlagskrater der Monde

Was ebenfalls als ein Hinweis für Rotation der Monde gewertet werden kann und dafür spricht, dass sie eingefangen sind, wären die beiden Kategorien von Einschlagskratern, die besonders gut bei den Saturnmonden zu sehen sind (9.2.)¹⁰². Die großen Krater in der ersten Periode umfassen den ganzen Mond. In der zweiten Periode finden sich nur noch kleine Krater und diese liegen oft auf einer Seite. Diese beiden Kategorien sprechen für zwei Perioden. In der ersten Phase entwickelt sich der Mond alleine, rotiert und sammelt alle Körper ein. Das wäre bevor er vom Planeten eingefangen wurde. Nachdem er eingefangen ist, verliert er die Rotation und wird nur von kleinen Körpern getroffen, weil der Planet die großen Körper aufnimmt.

¹⁰¹ Das Mondgestein von 4 bis 3,9 Milliarden Jahren weist einen starken Anstieg des Magnetfeldes vor. Von 3,9 bis 3,1 Milliarden Jahren fällt es langsam an.

Sterne und Weltraum, 11-1999 - S. 964

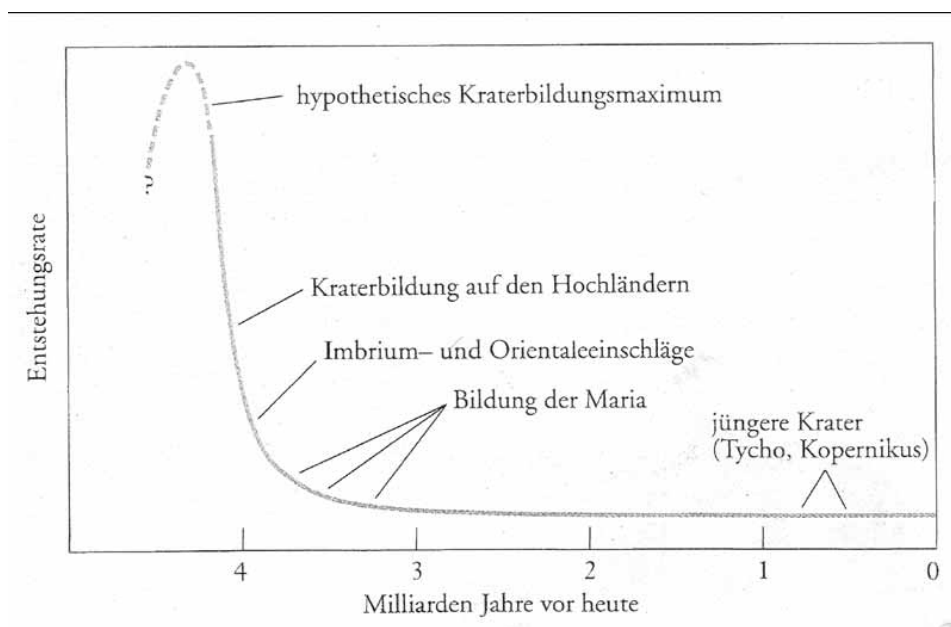
¹⁰² Laurence A. Sonderblom, Torrence V Johnson: „Die Monde des Saturn“ Spektrum der Wissenschaft 3/1982 Strukturen der Oberflächen der Saturnmonde. S. 157 ff

Die Galileischen Monde weisen diese Struktur nicht auf, weil die äußeren drei Monde vor dem Einfang schon eine große Schicht Wasser sammeln und diese erst einmal flüssig bleibt. Io weist durch die Nähe zu Jupiter eine hohe Aktivität vor, die alle äußeren älteren Strukturen zerstört hat. Unter der Eisschicht der äußeren drei Monde müssten die Krater der ersten Periode großer Einschläge noch erhalten sein.

Bei den inneren Saturnmonden, speziell bei Enceladus, ist eine verminderte Häufigkeit der Einschlagskrater zu finden (9.2.7.)¹⁰³. Das ist damit zu erklären, dass Saturn zu der Zeit, als er diese ersten beiden Monde einfing, noch eine geringe Masse hatte. Damit konnte er noch nicht all zu viele Körper anziehen.

Die verminderte Rate von Einschlagskratern bei Venus ist damit zu erklären, dass in dieser letzten Phase der Planetenentstehung keine größeren Körper mehr entstehen (22.12.)¹⁰⁴. Die kleineren Körper werden zum größten Teil in der Atmosphäre von Venus, die sicher noch stärker gewesen sein wird, zerstört.

Beim Erdmond ist festzustellen, dass die Einschlagshäufigkeit mit einem mal rapide abnimmt (siehe Grafik 23). Die Antwort könnte darin liegen, dass dies der Einfangzeitpunkt durch die Erde war. Nach dem Eingang hat die Erde alle Körper angezogen, weil sie die größere Gravitation hatte.



Grafik 23 : Einschlagskrater beim Erdmond (20.3.)¹⁰⁵.

¹⁰³ Laurence A. Sonderblom, Torrence V Johnson: „Die Monde des Saturn“ Spektrum der Wissenschaft 3/1982
Bei Enceladus sind die Krater seltener als bei Mimas.
S. 164

¹⁰⁴ Mark A. Bullock, David H. Grinspoon: „Klima und Vulkanismus auf der Venus“
Im Gegensatz zu anderen Planeten und Monden hat die Venus mit 963 Kratern äußerst wenige Einschläge.
3-2001 - S. 34

¹⁰⁵ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995
Die Einschlagskrater des Mondes sind bis 3,5 Milliarden Jahre rückschauend nahezu konstant und ihre Häufigkeit steigt danach sehr steil bis 4 Milliarden Jahre an. Diagramm, S. 67

2.9.10. Größe der Mondpaare untereinander

Die zusammengehörigen Mondpaare weisen unterschiedliche Größen und Masse auf. Mit zunehmender Masse hat der erste Mond die Fähigkeit Körper aus einem anderen Winkel in seine Umlaufbahn zu lenken und einzufangen. Das sind demnach Körper die „von dieser anderen Seite“ kommen und die der zweite Mond einfangen würde. Sie haben diesen anderen Winkel. Diese Winkelabweichung entspricht der doppelten Inklination des Körpers.

Damit dieser Einfang gelingt, bedarf es einer gewissen Gravitation. Mondpaare bis 500 Kilometer Radius haben eine zu geringe Gravitation. Diese Fähigkeit setzt erst bei den Monden ein, die über 750 Kilometer Radius haben. Hier ist die Gravitation groß genug, und damit ist der erste Körper des jeweiligen Paares in der Lage kleinere Körper der Gegenseite aufzunehmen. Das bezieht sich auf das letzte Stück der Wanderschaft bis zum Einfang durch den Planeten.

Bei den Jupitermonden ist es so, dass dieser Prozess früher einsetzt. Da diese Körper außer Callisto einen eigenen Eisenkern besitzen, können sie wesentlich mehr Masse sammeln. Bei dieser Entwicklung habe ich schon beschrieben, dass die Körper mit Eisenkern erst eine geringe Inklination besitzen und dann durch die Aufnahme von Gesteinskörpern ihre Inklination ändern. (Die Werte ändern sich übrigens einer Inklination um 11° zu einer Inklination von $17,5^\circ$.) In diesem Bereich schneiden sie die Entwicklung der E-Klasse ab. Damit haben sie in dieser Phase einen sehr raschen Gewinn an Gesteinskörpern größerer Art. In dieser Phase setzt im gleichen Zuge eine beträchtliche Gravitation ein. Damit gelingt es zum Beispiel einem Körper wie Io, in beträchtlichem Maße, Masse der E-Klasse von „dieser anderen Seite“ einzufangen und an Masse zu gewinnen. In der Phase, als seine Gravitation eine Rolle zu spielen beginnt, ist das von hoher Bedeutung, denn in der darauf folgenden Phase wird er aufgrund der größeren Gravitation leichter Masse gewinnen. Der Verlierer ist auf diese Weise Europa. Ihm fehlen Körper der E-Klasse und damit verzögert sich das Wirken seiner Gravitation in seiner mittleren Entwicklungsphase. Das wirft ihn in seiner gesamten Entwicklung sehr weit zurück. Bevor er eingefangen wird, hat er wesentlich weniger Masse einfangen können.

Dieser Fall bezieht sich nicht nur auf Io und Europa, sondern auch auf Erde und Mond. Hier kommt noch hinzu, dass die Erde nach dem Einfang des Mondes noch einmal an Masse gewinnt, weil sie das Massenzentrum des Doppelsystems sehr schnell in sich trägt und damit alle weiteren Massen an sich bindet.

Auch bei Jupiter und Titan wird das gleiche eingetreten sein, wie bei den späteren Körpern. Titan war größer als Jupiter und besaß auch die größere Dichte. Daher hatte er die geringere Inklination gegenüber Jupiter. Deswegen konnte er als äußerster Körper dieser Reihe bei der Sonnenkrise auch eher Gase aufnehmen und eilt dem Jupitersystem davon.

2.9.11. Wassermengen bei den inneren Planeten und beim Mond

Die Jupitermonde zeigen ab Europa große Mengen Wasser. Die Mengen müsste man eigentlich bei den inneren Planeten und unserem Mond ebenfalls vorfinden. Bei Europa spricht man von einer 100 bis 200 Kilometer dicken Eisschicht und bei Ganymed und Callisto müsste sie noch viel größer sein.

Wenn ich aus meinen Überlegungen zu dem Schluss komme, dass alle größeren Körper den Entstehungsbereich durchwandert haben, so gilt für sie alle das Prinzip, große Mengen Wasser gesammelt zu haben. Je größer die Masse des Körpers, umso größer wird die Wassermenge. Die Masse ist abhängig von seiner Kernzusammensetzung oder der Kerndichte. Es ist immer die Frage: Besteht der Kern aus Eis, Gestein oder Eisen? Damit hätten die Körper mit Eisenkern die größte Masse an Eis oder Wasser in ihrer äußeren Schicht, weil sie die geringste Abdrift hatten, als sie den äußeren Entstehungsbereich durchliefen.

Bis auf Merkur, der den Entstehungsbereich nicht ganz durchlaufen hat, müssten alle Körper, von der Venus bis zum Mars große Mengen Wasser besessen haben. Mag das auch nur für kurze Zeit gewesen sein, so haben sie jedoch existiert. Es wäre demnach die Frage, wie es dazu gekommen ist, dass der größte Teil des Wassers verloren ging.

Die Jupitermonde hatten den Vorteil, dass die Sonne kleiner wurde, als sich Callisto entwickelte. Er ist später, als alle anderen Monde von Jupiter eingefangen worden und Jupiter hat sich mit der Gasaufnahme von der Sonne entfernt. Somit kommen sie in kühlere Regionen und genießen, während sie die Sonne verlassen, den Schutz der Gasscheibe vor dem Sonnenwind. Damit können sie ihre Eisschichten behalten.

Die inneren Planeten entsprechen der letzten Phase der Entstehung unserer Sonne. Nach der T-Tauriphase verliert der Stern die Gasscheibe und der Sonnenwind trifft diesen Körper. Sie haben mit hohen inneren Temperaturen zu kämpfen, haben äußere hohe Temperaturen und der Sonnenwind greift ihre Gashülle an. Das einzige, was sie entlastet, sind größere Magnetfelder, denn die Kerne aus Eisen dürften in jedem Fall noch eine größere Rotation haben. Merkur und Venus hatten einen kaum rotierenden Gesteinsmantel. Der Eisenkern, der ja früher entstand, könnte noch eine gewisse Rotation gehabt haben. Bei diesen beiden inneren Planeten dürfte daher ein schwächeres Magnetfeld vorgelegen haben. Damit hatten sie den geringeren Schutz. Somit wird Venus gleich zu Beginn große Mengen Wasser verloren haben.

Diesen Schutz vor dem Sonnenwind hatten Mond, Erde und Mars, denn bei ihnen rotierten der Eisenkern und der Gesteinsmantel sehr schnell. Somit hatten diese drei am Anfang größere Mengen Wasser. Zudem waren sie schon weiter von der Sonne entfernt als Merkur und Venus, als die Gasscheibe zusammen brach. Vergleicht man Mond, Erde und Mars mit den Jupitermonden, so waren ihre Wassermassen deutlich geringer. Bei dieser großen Wassermenge wird die äußere Schicht sehr schnell gekühlt. Bei der Erde ist das an Zirkonkristallen zu erkennen, die für eine sehr frühe Abkühlung sprechen (22.22.)¹⁰⁶.

2.9.12. Ein Salzmeer in Callisto

Auf Grund ihrer Wanderschaft durch den Entstehungsbereich müssten Europa, Ganymed und Callisto eine große Wasserschicht haben. Die ist bei Europa und Ganymed festgestellt worden (5.25.)¹⁰⁷. Es ist aufgrund des Ablaufs der Entwicklung auch klar, dass Ganymed die größere Eisschicht besitzt.

Aus den Gravitationsmessungen der Galileo-sonde ergibt sich bei Callisto eher eine homogene Zusammensetzung. Seine Dichte nimmt zum Kern nicht so stark zu wie bei Ganymed. Bei Callisto spricht man nicht von einer großen Wasserschicht, weil man sich wahrscheinlich über die Art der Zusammensetzung nicht im Klaren ist.

Aus meinen Überlegungen heraus, besteht Callisto aus einem Gemisch aus Eisen und Gestein, was der S-Klasse der Asteroiden entspricht. Darüber liegt eine Schicht aus leichtem Gestein. Die

¹⁰⁶ Zirkonkristalle aus der Erdkruste haben ein Alter von 4,2 bis 4,4 Milliarden Jahren. Das Sauerstoffisotopenverhältnis beträgt 5,5 bis 7,5. Das spricht für ein kühles und feuchtes Klima auf der Erde.

Spektrum der Wissenschaft 5-2006- S. 80 f

¹⁰⁷ Die Galileischen Monde weisen getrennte Schichten von Eisen im Kern, Gestein im Mantel und Eis und/oder Wasser in den äußeren Schichten vor. Auf Io ist kein Eis zu finden. Bei Callisto ist die Dichte im Kern nicht so hoch, wie bei allen anderen Monden. Die Stärke der Eis- und Wasserschicht wird bei Europa auf 70-200 km geschätzt und bei Ganymed auf bis zu 800 Kilometer.

Sterne und Weltraum 7-2002 - S. 26

äußere Hülle ist eine dicke Schicht aus Eis und darunter eventuell sogar Wasser. Diese Schicht hat er in der äußeren Regionen des Entstehungsbereiches eingesammelt, wie alle anderen Monde auch.

Es ist demnach die Frage, wie könnte man dieses Eis oder ein in der Tiefe vorhandenes Meer lokalisieren? Den Hinweis dazu liefert das ausgelöste Magnetfeld von Callisto gegenüber Jupiter. Callisto selber hat kein Magnetfeld, aber er verändert das Magnetfeld von Jupiter. Um nun diese Veränderung in einem Bild darzustellen, müsste man eine hohle Kupferkugel um Jupiter kreisen lassen. Diese hohle Kugel würde dem gleichen Effekt entsprechen, wie eine Kugelschale aus einem Salzmeer von einigen 10 Kilometern Dicke (22.14.)¹⁰⁸. Wenn nun diese tiefe Schicht eines Meeres in Callisto existiert, dann ist es auch logisch, dass oberhalb von ihm nur Eis existiert. Das würde bedeuten, die äußere Schicht von Callisto wäre ein dicker Panzer aus Eis und darunter befände sich diese dicke Schicht eines Salzmeeres. Damit wäre die äußere Schicht von Callisto Ganymed ähnlich, der ebenfalls diesen dicken Eispanzer hat.

2.9.13. Der Anteil von Lanthan gegenüber Kalium

Der Anteil von Lanthan gegenüber Kalium steigt im inneren Sonnensystem von den äußeren Körpern zu den inneren Körpern an (siehe Grafik 24). Lanthan ist ein schwerflüchtiges Element, und Kalium ist dagegen ein leichtflüchtiges Element. Die Veränderung dieses Verhältnisses könnte man dahingehend interpretieren, dass die Temperatur bei dem Entstehen des jeweiligen Körpers gestiegen ist. Das wäre ein Hinweis für den Anstieg der Temperatur der Sonne während ihrer Entwicklung. Demnach wäre der Temperaturunterschied zwischen Erde und Mars nicht einmal so groß gewesen, aber er ist es zwischen Erde und Mond. Der Mond präsentiert die letzte Phase der Entwicklung unseres Sonnensystems, wo ihre Temperatur noch einmal ansteigt.

Hinzu kommt, dass das Magma des Mondgesteins wesentlich hochviskoser gewesen ist als bei der Erde. Schwere Elemente überwiegen im Vergleich zur Erde gegenüber den leichten Elementen, und der Mond weist gegenüber der Erde einen höheren Anteil an Wolfram auf (12.1.)¹⁰⁹. Diese Daten sprechen für eine höhere Entstehungstemperatur der Mondoberfläche gegenüber der Erdoberfläche.

Diese ansteigende Temperatur der Entstehung der Körper von den Meteoriten bis zum Mond muss man im Bezug zur Temperatur- und Leuchtkraftkurve von massenarmen Jungsternen setzen. Bei ihnen steigt die Temperatur in der letzten Phase nach der T-Taurikrise an und dann setzt sich der Stern auf der Hauptreihe ab (2.2.)¹¹⁰. In dieser Phase wären die letzten Körper im inneren Sonnensystem entstanden.

¹⁰⁸ Torrence, V. „Johnson: Jupiter und seine Monde“

Callisto verändert das Magnetfeld von Jupiter in der Weise, dass es am besten mit einer hohlen Kupferkugel erklärbar wäre. Der Ersatz für diese Kugel wäre ein Meer aus Salzwasser von mehreren 10 Kilometern Dicke möglich.

Spektrum der Wissenschaft, 3-2001 - S. 68

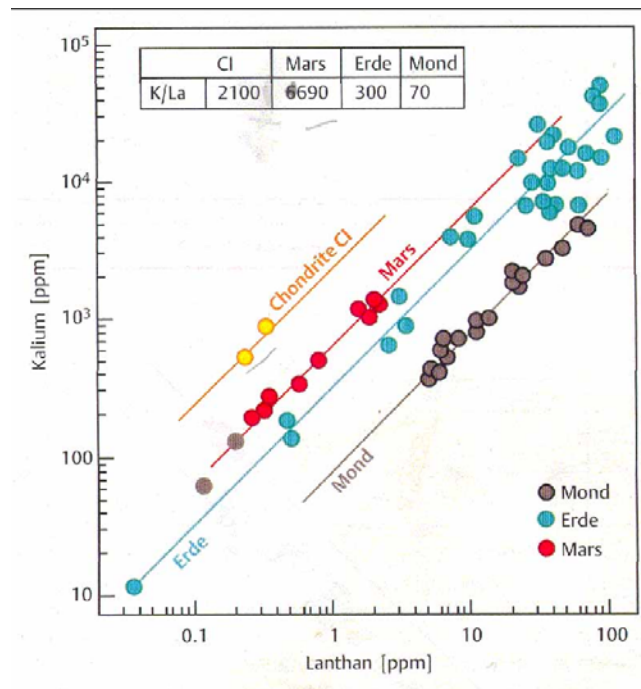
¹⁰⁹ Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Eukrite haben einen hohen Wolfram-Gehalt auf dem Mond aber nicht auf der Erde nicht.

S. 75

¹¹⁰ Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Temperatur und Leuchtkraftentwicklung bei Jungsternen kleinerer Masse. (Diagramm), S. 101



Grafik 24: Kalium-Lanthan-Anteil im inneren Sonnensystem (5.3.)¹¹¹.

Zudem sollte man noch kurz die chemische Zusammensetzung der Meteoriten in Bezug auf die Planeten erklären. Die schwerflüchtigen Elemente im Erdmantel sind gegenüber diesen kohligten Chondriten verarmt (2.9.)¹¹².

Die Erklärung für das verminderte Vorkommen von Elementen höherer Ordnungszahl in der Erdkruste, aber auch in der Marskruste liegt in der Wanderschaft der Planeten durch den Entstehungsbereich begründet. Als sie den Kern entwickelten, bewegten sie sich noch in einer Region höherer Temperatur, womit auch Stoffe höherer Kondensationstemperatur vorhanden waren. Je weiter sie aus diesem Bereich heraus gewandert sind, um so mehr bewegten sie sich in Bereiche geringerer Temperatur. Dort kondensierten leichtere Stoffe. Diese bildeten die Kruste des Planeten.

Durch diese beiden kurzen Informationen aus dem Bereich der chemischen Zusammensetzungen findet man durchaus Hinweise, die eine Betrachtung unterstützen, die Körper im Sonnensystem seien hintereinander entstanden. In diesem kurzen Kapitel ging es jedoch lediglich darum, sich ein erstes Bild zu verschaffen, nach welchem Prinzip die Körper in unserem Sonnensystem entstanden sind.

Das bedeutet für das innere Sonnensystem: Mars und Erde sind das erste Paar. Das zweite Paar sind Mond und Venus, und das dritte Paar wären eigentlich Merkur und ein weiterer Körper. Da aber zu dem Zeitpunkt der Entstehungsbereich zusammen bricht, werden aus zwei Körpern, der E-

¹¹¹ Das Kalium/Lanthan-Verhältnis ist bei den CI-Meteoriten 2100, beim Mars liegt er bei 690, bei der Erde entspricht er 300 und der Mond hat einen Wert von 70.

Stern und Weltraum, 9-1999 - S. 747

¹¹² Prof. Dr. H. J. Fahr, Dr. E. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ 1998 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin

Im Vergleich der Elementenhäufigkeit zwischen den kohligten Chondriten (CI-Chondriten) und dem Erdmantel stellt sich eine Verarmung schwerflüchtiger Elemente auf der Erde heraus. S. 87 f

Klasse und der M-Klasse Merkur. Merkur hat damit die Doppelte Menge an Eisen und schwerem Gestein.

2.9.14. Die Gasaufnahme des Planeten

Zum Ende Dieses Kapitels soll noch ein die Gasaufnahme besprochen werden. - Ein Körper aus Eisen hat eine geringe Inklination und steht im Schutz der Gasscheibe vor dem Sonnenwind. Damit ist er schon bei geringer Masse in der Lage, in Sternnähe gewisse Mengen an Gasen aufzunehmen. So kann man verstehen, dass im Kern der Erde Edelgase eingeschlossen sind. In äußeren Schichten finden wir diese Gase nicht mehr (5.22.)¹¹³.

In seiner weiteren Entwicklung sammelt dieser Eisenkern einen Gesteinsmantel, seine Dichte nimmt ab und die Inklination zu. Damit kommt er wieder unter den Einfluss des Sonnenwindes und das aufgenommene Gas wird in dieser Position abgeblasen.

Die weitere Massenzunahme des Körpers führt ab einer bestimmten Masse zur Erhöhung der Dichte aufgrund der eigenen Gravitation. Die druckbelastete Dichte steigt. Damit sinkt die Inklination des Körpers. Die Masse kann er nur gewinnen, wenn er mehrere Monde einfängt.

Der Planet braucht demnach mehrere Monde, die Körper mitbringen, damit er an Masse gewinnt. Damit ist seine Gravitation groß genug, um seine Dichte zu erhöhen.

Der eigentliche Faktor, der die Gasaufnahme bestimmt, ist der Sonnenwind. Er setzt innerhalb der Gasscheibe eine ganz bestimmte Linie fest, die besagt, ab dieser Dichte ist die Gasaufnahme möglich. Da Planeten auch bei Sternen mit hohen Temperaturen entstehen und dort der Sonnenwind steigt, bestimmt er die Masse des Planeten vor der Gasaufnahme.

Es gilt jetzt die Klassen der Gasplaneten zu unterscheiden. Es gibt unter den Gasplaneten genau so wie unter den Planeten drei Arten. Neptun ist der Gasplanet, der bei allen Sternen als erstes auftritt. Er ist Vertreter der E-Klasse. Uranus und Saturn sind Vertreter der C-Klasse und Jupiter ist ein Vertreter der M-Klasse Er ist der erste Gasplanet mit Eisenkern. Alle diese Klassen erkennt man an der Magnetachse im Bezug zur Ekliptik.

Die Gasplaneten als Vertreter E- und die C-Klasse wandern kategorisch von Stern weg, wenn sie Gase aufnehmen. Das ist aber nicht so, bei den Vertretern der M-Klasse. Jupiter wäre der erste Gasplanet mit Eisenkern gewesen, der die Möglichkeit gehabt hätte, nicht nur Gasplanet zu werden, sondern auch sich weiter zum Stern zu entwickeln. Es hat es deswegen nicht geschafft, weil ihm Titan verloren gegangen ist. Das System hätte mit Titan mehr Masse gehabt. Damit würde er in der Nähe bleiben, und die Körper des Asteroidengürtels und das innere Planetensystem wären alle seine Monde geworden, und sicher auch zum Teil abgestürzt.

Das heißt diese Körper der M-Klasse sind durchaus in der Lage zu Doppelsternen zu werden. Was sie daran hindert ist die T-Taurikrise. Sie setzt in manchen Fällen zu spät ein und damit gibt es bei den G-Sternen vereinzelt enge Doppelsterne.

¹¹³ Isotope der Edelgase von Helium Neon und Argon. Besonders bei Helium und Neon zeigt sich, dass wir es in den oberen Schichten des Erdkerns (Mittelozeanische Inselbasalte, MORB) mit einer Verarmung von Gasen zu tun haben. In den tieferen Schichten (Ozeanische Inselbasalte, OIB) finden wir wieder eine Anhäufung von Gasen. - Mario Trieloff und Tilmann Althaus.

2.10. Rotation, Magnetismus und Drehung der Mondsysteme

2.10.1. Fragen zum Thema

In diesem Kapitel geht es um die Drehung der Mondsysteme, um die Achse und die innere Struktur des Gasplaneten. Welche Wirkung hat die Gasscheibe des Sterns auf die Monde und den Planeten? Welche Kräfte wirken. Dann geht es um die Frage, was sind die Magnetachsen der Planeten. Das alles sind Fragen, die in diesem Kapitel besprochen werden.

2.10.2. Kräfte beim Durchdringen der Gasscheibe

Körper rotieren, weil sie sich schneller als das Gas bewegen und sich beim Durchdringen der Gasscheibe in immer dichteres Gas bewegen. Hierdurch erfahren sie eine Reibung und rotieren.

Die Rotation hat als Achse das Massenzentrum des Körpers. Der Hebel, der die Kraft überträgt, ist der Radius von der Rotationsachse bis zur Außenfläche des Körpers. Je größer der Körper geworden ist, umso größer ist der Hebel an dem die Reibung angreift, und umso größer wird seine Rotation. Körper hoher Dichte haben eine geringere Inklination, bewegen sich in einer stärkeren Strömung und haben daher eine höhere Rotation als Körper geringer Dichte (7.4.)¹¹⁴.

Die Kraft die auf einen Körper wirkt, der die Gasscheibe durchdringt, lässt sich in zwei Vektoren zerteilen. Ein Vektor 1 wirkt parallel zur Ekliptik und treibt den Körper vom Stern weg. Ein Vektor 2 steht senkrecht zur Ekliptik und treibt den Körper von der Ekliptik weg. Bei größerer Inklination wird Vektor 2 gegenüber Vektor 1 größer.

Hat man es mit zwei Körpern zu tun, die sich auf der Ebene der Inklination umrunden, kann der Schwerpunkt in einem der beiden Körper liegen oder zwischen beiden. Der Körper (Planet), der den Schwerpunkt in sich hat, verhält sich beim Durchdringen der Gasscheibe wie der Einzelkörper. Seine Rotation wird weiterhin abgetrieben. Der andere Körper (Mond) wird beim Durchdringen vom Vektor 1 in eine elliptische Bahn um den Planeten gebracht und vom Vektor 2 aus der Inklinationsebene des Planeten erst einmal in die Rotationsebene der Ekliptik gedreht. Das bedeutet, die Kraft, die beim Planeten zur Rotation führt, führt beim Mond zur Drehung seiner Bahnebene um den Planeten und zu einer elliptischen Bahn. Die Drehung der Mondsysteme ist demnach der Ersatz für die Rotation.

Stehen der Mond auf der Sternzugewandten Seite und der Planet im Aphel, führt die Kraft dazu, dass er zum Planeten gedrängt wird. Auf den Mond wirkt zwar die kleinere Kraft, weil seine Oberfläche kleiner ist, aber sie hat gegenüber der Masse eine größere Wirkung. Damit nähert er sich dem Planeten.

Zerlegt man diese Kraft in ihre Vektoren, treibt die eine vom Stern weg und die andere drängt ihn von der Ekliptik weg. Die Kraft, die ihn von der Ekliptik wegdrängt, führt dazu, dass die Bahn des Mondes geändert wird. Seine Bahn wird aus der Inklination des Planeten in die Ebene der Ekliptik gedreht.

¹¹⁴ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: "Planeten - Wanderer im All" Cambridge University Press 1991

Rotation der Asteroiden in Relation zu Masse, Dichte und Größe. Textquelle: Stanley F. Dermott und Carl D. Murray: Nature 296, 418 (1982)

Auf der Sternabgewandten Seite wirken die gleichen Kräfte. Die eine drängt ihn wieder in die Inklination des Planeten und die andere von ihm weg. Der Unterschied liegt darin, dass der Mond in dieser Sternabgewandten Position weiter von der Ekliptik entfernt ist. Dort sind die Kräfte der Strömung geringer. Damit geht die Tendenz aller Kräfte dahin, dass der Mond zur Ekliptik gedreht wird. Die Stärke der Drehung ist abhängig von der Inklination des Planeten und von seinem Abstand gegenüber dem Planeten. Je größer beide sind, umso größer ist die wirkende Kraft.

Bisher war der Blickwinkel eine Seitenansicht, was einer senkrechten Ebene auf der Ekliptik entspricht, und zum anderen fehlte die Bewegungsrichtung des Mondes, des Planeten und die des Gases. Damit dies besser verständlich ist, wählt man eine Aufsicht. Das wäre eine parallele Ebene zur Ekliptik.

Bei dieser Ansicht sind vier Positionen des Mondes wesentlich. Zwei sind schon erwähnt. Die dritte wäre die Heckposition und die vierte die Bugposition des Mondes im Bezug zum Planeten. Der Planet steht im Aphel gegenüber dem Stern.

Die Bugposition zeigt die Richtung des Planeten an und die des Gases. Der Planet ist schneller als das Gas. Der Mond bewegt sich von der Heckposition in die Sternabgewandte Position zur Bugseite. In der Sternabgewandten Position hat er die gleiche Bewegungsrichtung wie das Gas und der Planet. In der sternnahen Position bewegt er sich in die entgegengesetzte Richtung von Planet und Gas.

In der Bug- und Heckposition trifft ihn die Strömung des Gases von der Seite. Er wird in der ersten zum Planeten gedrängt und in der zweiten von ihm weggeschoben. Je stärker die Strömung ist, umso exzentrischer wird die Bahn. Die Exzentrizität nimmt zu, wenn sich das System der Ekliptik nähert. Sie ist größer, wenn der Mond kleiner ist. Damit werden kleinere Körper über die Strömung in der Nähe der Ekliptik zum Absturz auf den Planeten gebracht.

Da der Mond eine Inklination hat, bewegt er sich gleichzeitig in dichteres Gas, wenn er sich dem Stern nähert und sich vom Bug zur Sternzugewandten Seite bewegt. Er setzt sich einer höheren Reibung aus, je weiter er sich in diese Richtung bewegt. Das führt zur Drehung der Ebene der Mondbahn und verzögert seine Geschwindigkeit. Seine Annäherung an den Planeten hat in dieser Position demnach zwei Ursachen. Kurz nach dieser Bugposition kommt er dem Planeten von allen Positionen am nächsten.

In der Sternzugewandten Seite ist seine Bewegungsrichtung dem Planeten und der Strömung entgegengesetzt. Die Reibung des Gases wird geringer und er beginnt sich vom Planeten zu entfernen.

In der Heckposition treibt ihn die Strömung vom Planeten weg, er bewegt sich auf Grund der Inklination aus dichtem Gas heraus, womit die frontale Abbremsung kleiner wird. Hier wird er den größten Abstand vom Planeten haben.

In der Sternabgewandten Position haben wir schon festgestellt, dass der Mond eine größere Entfernung vom Planeten hat. In dieser Position wird er jedoch durch die Strömung des Gases gebremst, und zwar mehr gebremst als der Planet. Damit kommt er dem Planeten wieder näher. Betrachtet man diese Position ohne die Strömungsrichtung des Gases, wie ich es vordem beschrieb, so würden wir davon ausgehen, dass er sich vom Planeten entfernt.

Wenn wir die Gravitation des Sterns einbringen, wirkt sie am stärksten in der Bugposition. Damit hilft sie dem Mond in dieser Position vom Planeten wegzukommen. Alles in allem bleibt die Bugposition des Mondes die gefährlichste. Dort läuft er am meisten Gefahr abzustürzen.

Da der Planet ständig Körper einfängt, die meistens kleiner sind als Monde, wirkt die Strömung viel stärker auf sie. Sie kommen auf stärkere elliptische Bahnen und der Abstürzpunkt liegt etwas hinter der Bugposition des Planeten. Im gleichen Zuge wirkt aber auch die Gravitation der Sonne. Damit kommt ein Körper, der den Planeten umkreist, auf der abgewandten Seite des Sterns dem Planeten am nächsten. Der Abstürzpunkt liegt immer zwischen Bug und Sternabgewandter Seite. Das gilt auch wenn sich Körper, wie zum Beispiel Japetus um einen Planeten drehen. Er hat Kleinkörper mit in das Saturnsystem gebracht, die sich auf seiner Rotationsebene befanden. Dann hat er die Rotation verloren. Saturn hat immer mehr Gase aufgenommen, seine Gravitation ist gestiegen und damit wurden die Kräfte der Gravitation und der Gasströmung immer stärker. Das führte zum

Absturz der Kleinkörper. Diese sind zwischen der Bugseite und der Saturnabgewandten Seite. Deswegen befindet sich dort ein Kranz ähnlich wie eine Nusschale auf dem Äquator (5.81.)¹¹⁵.

2.10.3. Rotationsneigung und ehemalige Inklination der Planeten

Wenn Körper den Stern verlassen, haben sie spezifisch ihrer Dichte eine Inklination. Bei Gesteinskörpern liegt sie um 20° und bei Eisenkörper über 10°. Unter diesem Winkel bekommen sie ihre Rotation. Diese Inklination hält der Körper, bis er zum Planeten wird und seine Monde eingefangen hat. Während er die Monde einfängt, nimmt er nicht nur sehr stark an Masse zu, sondern auch an Dichte. Das wird ausgelöst durch die Gravitation. Mit höherer Dichte wird die Inklination kleiner. Während des Mondeinfangs beginnt auch die Drehung des Mondsystems.

Die Gasaufnahme setzt mit zunehmender Entfernung vom Stern ein und passt sich der Bewegungsebene der Monde um den Planeten an, die sich mit dem Abwandern vom Stern weiterhin in ihrer Ebene drehen. Damit verschwindet die ursprüngliche Rotationsneigung im Kern. Die Rotationsneigung bleibt erhalten und drückt sich im Winkel der Magnetachse zur Ekliptik aus. Die Magnetachse der Gasplaneten entspricht der ehemaligen Inklination des Planetenkerns.

Aus dem Grunde, dass Körper zur Ekliptik wandern, weisen auch die Asteroiden nicht mehr die ehemalige Inklination vor. Es dürfte aber noch die Tendenz der Inklination der einzelnen Klassen unterschiedlicher Dichte erkenntlich sein. Als Beispiel kann man dort den Asteroiden Psyche anführen. Er wird als metallisch angegeben (20.4.)¹¹⁶. Damit gehört er zu der M-Klasse der Asteroiden. Seine Inklination entspricht 3,09°. Das würde der Tatsache entsprechen, dass Eisenkörper eine kleine Inklination haben. Gesteinskörper haben in der Tendenz eine größere Inklination.

Bei Pluto war die Masse noch sehr klein und zudem noch keine großen Körper vorhanden, daher behält er seine Inklination bei. Da die Entwicklung der Planeten mit Merkur und Venus abrupt endet, schaffen sie es nicht, zur Ekliptik zu wandern. Daher steigt die Inklination der Planeten von der Erde bis Merkur an.

Betrachten wir die Rotation der großen Gesteinskörper, so hat die Erde zum Beispiel einem Gesteinsmantel mit einer Rotation von 23,5°, Mars hat einen von 25°. Demnach hatten auch sie eine entsprechende Inklination, nachdem der Gesteinsmantel gesammelt war. Der Gesteinsmantel von Jupiter ist nicht erkenntlich. Bei den äußeren Gasplaneten dürfte die Magnetachse dem rotierenden Kern entsprechen. Saturn liegt in seiner Inklination ungefähr bei 26,7° plus minus 0,8°. Uranus hat entschlüsselte 22,1° im Bezug zur Ekliptik. (Um diesen Wert zu entschlüsseln, muss man 180° von der Rotationsneigung mit 97,9° abziehen (19.1)¹¹⁷. Damit bleiben 82,1°. Davon werden noch mal 60° abgezogen. Dieser Wert von 22,1° ist die Abweichung der Magnetachse von der Rotationsachse.)

¹¹⁵ Der Bergrücken am Äquator von Japetus liegt auf der saturnabgewandten Seite der vorausseilenden Hemisphäre.

Sterne und Weltraum 8/2005 / S. 23

¹¹⁶ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Klassen großer Asteroiden. Der Asteroid „Psyche“ ist metallisch.

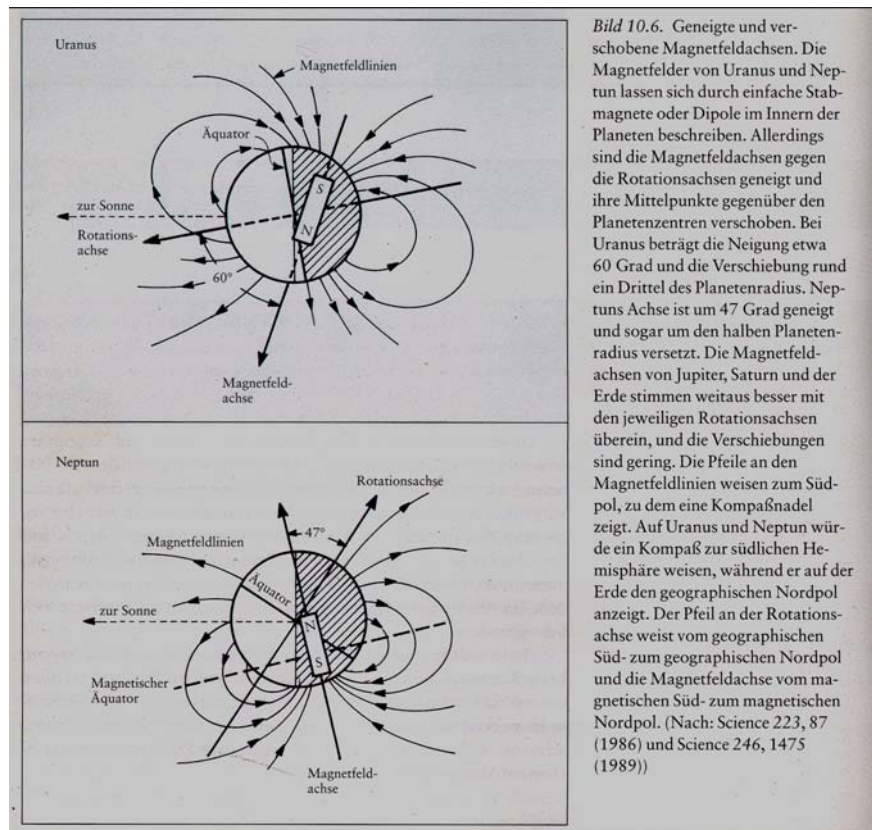
S. 191, Tabelle

¹¹⁷ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

Neptun würde ebenfalls den entschlüsselten Wert von $17,4^\circ$ gegenüber der Ekliptik erreichen. (Um den Wert zu erhalten, müsste man die 47° der Neigung der Magnetachse von der Neigung der Rotationsachse, das wären $29,6^\circ$, abziehen.) (siehe Grafik 25). Pluto passt genau in diese Reihe. Er hat seine Inklination von $17,15^\circ$ beibehalten. Die Inklination und die Rotationsneigung sind Ausdruck der Dichte des Planetenkerns und stehen in umgekehrt proportionalem Verhältnis zueinander. Das Verhältnis unterstreicht, dass die Dichte dieser Planetenkerns zu den äußeren Planeten hin zunimmt und die Planetenkerns damit der Dichte ihrer Monde entsprechen. Dabei zeigt sich, dass Neptun ohne seinen Gasmantel zu früheren Zeiten eine wesentlich höhere Dichte hatte als Uranus. Das ist damit zu erklären, dass Neptun, wie Pluto, aus der E-Klasse stammt und Uranus aus der C-Klasse stammt, die bei den Asteroiden vorzufinden sind.



Grafik 25: Magnetachsen von Uranus und Neptun (7.1.)¹¹⁸

Diese Winkel sind der Hinweis auf die ehemaligen Inklinationen und die jetzige Rotationsneigung der Körper mit Gesteinsmantel oder reinem Gesteinskern im Gasplaneten.

Die Rotation des Eisenkerns entspricht den Magnetachsen bei entsprechenden Planeten. Merkur hat eine Magnetachse von 10° , bei der Erde $11,7^\circ$. Jupiter rotiert unter einem Winkel von $3,1^\circ$. Dazu addiert sich die Magnetachse von $9,6^\circ$. Die Magnetachse hat bei ihm damit eine Neigung von $12,7^\circ$ gegenüber der Ekliptik. Hier sieht man eine fallende Tendenz von Jupiter bis Merkur. Das passt, da die Rotationsgeschwindigkeit der Gasscheibe zum Ende der Entstehung immer mehr nachlässt.

¹¹⁸ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Cambridge University Press 1991

Was uns noch mal unterstützt, dass die Magnetachsen im Kern der Planeten wirklich der Rotation entsprechen, ist die Tatsache, dass der Erdkern unter einem anderen Winkel rotiert als die Erde selbst. Er rotiert ungefähr unter 10° und ist damit der Magnetachse sehr verwandt (5.2.)¹¹⁹. Zudem dreht sich der Kern erheblich schneller. Das passt zu den Eisenasteroiden, die ebenfalls schneller rotieren als die Gesteinskörper. In der Gasscheibe bewegt sich das Eisen in einem dichteren Gas näher zur Ekliptik und erfährt dort eine größere Reibung. Die unterschiedlichen Rotationsachsen in einem Festkörper und Geschwindigkeiten sind nur über diese getrennte Entstehung von Kern und Mantel erklärbar. Was dies noch mal unterstützt ist die chemische Zusammensetzung der Erde (19.8.)¹²⁰.

2.10.4. Drehung der Mondsysteme

Wenn ein Planet einen Mond einfängt, entspricht der Einfallswinkel ungefähr der Inklination des Planeten. Hat der Planet den größten Abstand vom Stern, ist sein Abstand von der Ekliptik auch der größte. Steht der Mond in dieser Stellung dem Stern am nächsten, hätte er den geringeren Abstand zur Ekliptik. Er ragt tiefer in die Strömung der Gasscheibe. Damit erfährt er eine Reibung im Gas, wenn er den Planeten umrundet. Er taucht auf der Sternzugewandten Seite in die Strömung ein, und das führt dazu, dass die Bahnebene des Mondes um den Planeten gedreht wird. Diese Ebene gleicht sich der Rotationsebene aller Körper im Sonnensystem an. Bei jedem weiteren Mond wird die Reibung der Strömung verstärkt, da der Mond einen größeren Abstand vom Planeten hat und tiefer in die Gasscheibe ragt. Das führt zu einer gleichmäßigen Drehung, die nur über die Strömung eines Gases erklärbar ist.

Der Drehimpuls bleibt erhalten, während sich der Planet vom Stern entfernt. Der Einfluss der Gasscheibe verschwindet, weil sie nur bis zu einem bestimmten Abstand zum Stern existiert. Das Mondsystem führt diese Drehung der Rotationsebene weiter. Die Gasaufnahme bestimmt demnach nicht der Planet mit seiner Rotationsachse, sondern die Bewegungsebene des Mondsystems.

Jedes System würde sich in der Regel bis in die Senkrechte drehen. Dort wirkt die entgegenkommende Strömung der Gase als Bremse und hebt den Drehimpuls des gesamten Systems auf. Ein großes System wird schneller gebremst als ein kleines, weil ein größerer Hebel existiert. Daher ist Pluto mit Charon über die Senkrechte hinaus gedreht worden und landet bei $122,5^\circ$, während das Mondsystem des Uranus bei $97,9^\circ$ verharret. Wenn Pluto und Charon eine Rotationsebene hatten,

¹¹⁹ Der geschmolzene Eisenkern der Erde beginnt ab 2900 Kilometer Tiefe. Der innere Kern von 2400 Kilometern Durchmesser dreht sich etwa um 10° Neigung gegenüber der Rotationsachse, und er dreht sich schneller als der Mantel. Im Gegensatz zu der Plattenbewegung der Kruste bewegt er sich über 1 Million Mal schneller, was 20 Kilometer pro Jahr entspricht.

Sterne und Weltraum, 4-1997 - S. 335, Markus Kasper

¹²⁰ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Die getrennte Entstehung von Kern und Mantel unserer Erde schließt eine Fraktionierung nach der Dichte aus, oder sie grenzt sie zum großen Teil ein.

Die Struktur der Erde setzt seine homogene Akkretion im chemischen Gleichgewicht voraus. Der Kern müsste daher alle siderophilen Elemente, wie Nickel, Kobalt, Kupfer und Gold enthalten. Ihre Häufigkeit im Erdmantel ist relativ hoch. Die Separation des Erdkerns vom Rest des Ausgangsmaterials kann also nicht im chemischen Gleichgewicht stattgefunden haben.

Aus der Isotopengeochemie des Bleis ersichtlich, muss der Erdkern sehr früh entstanden sein.

Das $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ -Verhältnis im Erdmantel ist viel zu hoch um jemals mit dem Metall des Kerns im chemischen Gleichgewicht gewesen zu sein.

Flüchtige Verbindungen müssten vermehrt im Inneren der Erde vorzufinden sein. Das ist nicht der Fall. S. 240

die ihrer Inklination entsprach, also $17,15^\circ$, so hätten sie sich, einmal in die Rotationsebene der Sonne und noch um $122,5^\circ$ gedreht. Die Gesamtdrehung beträgt $139,65^\circ$ (19.1.)¹²¹.

Dagegen hatte sich Uranus, der im Kern eine Rotationsachse von $22,1^\circ$ hat, was der Magnetachse gegenüber der Ekliptik entspricht, aus dieser Position in die Ekliptik gedreht und über die Senkrechte hinaus zu 98° . Das Mondsystem ist bei ihm demnach um $121,7^\circ$ gedreht worden.

Neptun verliert sein äußeres Mondsystem, weil er Planeten und Monde einfängt. Er verliert dabei sein Mondsystem in dem der Drehimpuls liegt. Daher erreicht Neptun nur einen Winkel von $29,6^\circ$. Er hatte eine Inklination von $17,2^\circ$, was wieder seiner Magnetachse entspricht, und dieses System hat sich zur Ekliptik und um weitere $29,6^\circ$ gedreht (19.1.). Das gesamte System ist wegen des verlorenen Drehimpulses nur um $46,8^\circ$ gedreht worden.

Saturn hat eine Rotationsneigung von $26,7^\circ$. Seine Magnetachse weicht um $0,8^\circ$ ab (7.8.)¹²². Die Ursache dieser minimalen Drehung liegt darin, dass Saturn und seine Monde im äußeren Entstehungsbereich gebildet werden und wegen der geringen Dichte schnell wegwandern. Der zweite Grund findet sich in der Sonne. Damit zieht sich die Gasscheibe aus der Region zurück, bevor die letzten beiden großen Monde, Titan und Japetus eingefangen werden. Weil Japetus der letzte ist, wird er nicht mehr auf die gleiche Rotationsebene aller Monde gebracht. Das liegt daran, dass sich diese Gasscheibe um die Sonne zurückgebildet hat.

Bei Jupiter hat sich das Mondsystem stärker gedreht, weil er näher zur Sonne entstand. Seine Inklination mit Gesteinskern ist nicht bekannt. Die des Eisenkerns lag bei $12,7^\circ$ gegenüber der Ekliptik, was wieder der Magnetachse entspricht (7.8.). Mit Gesteinskern könnte er eine Inklination von 20° gehabt haben auf dessen Ebene sich seine Monde bewegten. Heute liegt seine Neigung bei gut 3° . Damit hätte sich sein Mondsystem um ungefähr 17° gedreht. Die Gasscheibe hatte hier einen größeren Einfluss als bei Saturn aber dann hat sie sich auch aus dieser Region zurückgezogen.

2.10.5. Magnetachsen und Inklination

Da man davon ausgehen könnte, dass die Magnetachsen den inneren Körpern der Gasplaneten entsprechen, und diese auf bestimmte Klassen von Körpern zurückzuführen sind, so müsste es im Sonnensystem noch Hinweise geben, die diesen Achsen entsprechen. Die Körper des Asteroidengürtels sind auf die Dichte abgestimmt. Sie liefern den Hinweis, dass Körper einmal entsprechend ihrer Dichte Inklinationen hatten. Später haben sie jedoch ihre Inklinationen gesenkt. Die Plutinos, aber auch der Kuiper-Gürtel, liefern den Hinweis, dass die Körper entsprechend ihrer Dichte Inklinationen vorweisen (siehe Grafik 18). Bei den Plutinos sind diese drei wesentlichen Klassen der Körper mit entsprechenden Inklinationen noch vorzufinden (siehe Grafik 19). Der Grund liegt darin, dass in dieser äußeren Region keine größere Körper gebildet haben, wie Jupiter, die mit ihrer Gravitation die Körper zur Ekliptik gezogen haben. Demnach würden die Plutinos der wirkliche Hinweis für die Annahme, dass alle Körper entsprechend ihrer Dichte ehemals eine Inklination hatten. Aus diesen bahnen erklären sich Rotation von Körper und auch der Magnetismus der Gasplaneten.

¹²¹ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu Planeten und Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

¹²² Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“, Originaltitel: “Exploration and Discovery in the Solar System.” Cambridge University Press 1991

Neigung des Magnetfeldes der Planeten von Jupiter und Saturn

S. 370

2.10.6. Japetus und der Erdmond

Es gibt eine Ähnlichkeit im abgelaufenen Entwicklungsprozess zwischen dem Erdmond und Japetus. Bei Japetus ist durch den Rückzug der Gasscheibe die Inklination gegenüber der Rotationsebene Saturns geblieben. Beim Erdmond liegt der gleiche Fall vor. Er fängt den Mond in der letzten Phase der Planetenentstehung ein, als die Gasscheibe um die Sonne zusammen bricht, weil ihre Rotation zu klein geworden ist. Damit wird der Mond nicht in die gleiche Rotationsebene gebracht, wie die Erde. Dieser plötzliche Einbruch führt sogar zu einer schwankenden Inklination.

2.10.7. Verschiebung der Magnetachsen der Gasplaneten

Die Magnetfelder der Gasplaneten sind alle aus dem Zentrum versetzt. Bei Saturn ist der Grad der Versetzung sehr klein. Bei den anderen Gasplaneten ist er relativ groß. Bei Neptun und Uranus ist das Magnetfeld auf der Sonnenabgewandten Seite stärker. Bei Jupiter ist die Magnetachse um 18000 Kilometer aus dem Zentrum versetzt, aber es ist nicht angegeben, in welcher Richtung er versetzt ist (20.2.)¹²³.

Bei Jupiter ist das Magnetfeld über den Eisenkern definiert. Was ist aber das schwache Magnetfeld der äußeren Gasplaneten. Sie haben nur einen Gesteinskern und eine Schicht Wasser und darüber liegt eine Gashülle, die zum großen Teil aus Wasserstoff besteht. Nur bei Jupiter und Saturn dürfte der Wasserstoff metallisch sein. Die Ursache könnte eine leitende Salzwasserschicht sein. Die Achsenneigung verursacht der rotierende Planetenkern, und die Verschiebung ergibt sich aus dem versetzten Kern in der leitenden Wasserhülle.

Für Jupiter bedeutet das, dass sein Eisenkern sich näher an der Sonne befindet. Damit müsste sein Magnetfeld meiner Annahme nach zur Sonne versetzt sein.

Bei den äußeren Gasplaneten ist der Träger des Magnetismus die Wasserschicht. Da auch hier der Gesteinskern zur Sonne hin versetzt rotiert, ist die größere Wassermenge auf der abgewandten Seite und damit das Magnetfeld dort stärker. Wie stark das Magnetfeld versetzt ist, hängt davon ab, wie groß der Mantel aus Wasser ist. Die Menge des Wassers ist abhängig von der Dichte des Planetenkerns. Je höher sie ist, umso näher ist der Entstehungsort zur Sonne hin verlagert und umso mehr Masse hatte der Planet mit seinen Monden als er den Bereich der Entstehung der Kometen durchquerte. Damit hätte Jupiter die größten Wassermengen, dann folgte Neptun und als drittes Uranus. Der Körper mit der kleinsten Wassermenge wäre Saturn. So kann sich das Magnetfeld bei ihm am wenigsten verlagern. Damit ist es bei Neptun und Uranus am stärksten versetzt.

2.10.8. Die Stärke des Magnetismus und die Rotation

Jupiter dürfte einen Kern aus Eisen haben, was man aus der ähnlichen Achsenneigung ableiten kann. Er wäre von der Entwicklung nicht viel größer als die Eisenkerne seiner Monde. Wie kommt es aber dann zu einem so starken Magnetismus?

Dieser erklärt sich daher, dass sein Kern sehr schnell rotiert. Den Grund für diese hohe Rotation liefert die Gravitation, die diesen Kern verkleinert. Über den Impulserhaltungssatz muss sich damit seine Rotation erhöhen.

Wenn sich nun ein Gasplanet mit Eisenkern zum Stern entwickelt, verstärkt sich sein Magnetfeld, und es kann sogar dazu führen, dass die Rotation von innen angetrieben wird.

¹²³ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Die verschobene Magnetachse Jupiters

S. 47

Was dieses Prinzip unterstützt, ist die Rotation eines Braunen Zwerges. Seine Masse ist 32-mal größer und seine Rotation ist mehr als doppelt so groß wie die von Jupiter. Jupiter rotiert mit 12,7 km/s und dieser Braune Zwerg mit 28 km/s (5.68.)¹²⁴. Diese hohe Rotation bestätigt den Gedanken, dass die Rotation und indirekt damit das Magnetfeld vom Kern bestimmt werden.

2.10.9. Drehimpuls der Gasscheibe und des Sterns

Die Drehungen aller Mondsysteme führen den Drehimpuls aus der Gasscheibe in Sternnähe ab, in der die Körper entstehen. Die Rotation aller Körper, nicht nur jener, die weggewandert sind, sondern auch derjenigen, die abgestürzt sind, nimmt den Drehimpuls aus der Gasscheibe. Der nächste Faktor, der den Drehimpuls aus der Gasscheibe nimmt, liegt da, dass Körper über die Strömung vom Stern weggetrieben werden. Die Menge der abgestürzten Körper dürfte in den früheren Phasen einer Sternentwicklung sehr hoch gewesen sein. Damit führt sie große Mengen Drehimpuls ab.

Der größere Effekt entsteht jedoch durch die Entwicklung der Magnetfelder über die Rotation der Körper, die in den Stern stürzen. Wohl verliert sich die Rotation dieser vielen Körper, aber das Magnetfeld, was mit dem vergasenden Körper existiert, bleibt erhalten und wird auseinander gezogen. Es arbeitet gegen die Rotation des Sterns und bremst diesen. In der Sonne ist das bis heute noch in den Sonnenflecken zu beobachten. Der wesentliche Gedanke liegt darin, dass der Stern in seiner Gasscheibe den Drehimpuls produziert, den er sich selber durch den Absturz der Körper nimmt.

Betrachtet man noch mal die Eisenmenge, die eventuell in Sterne gestürzt seien könnte, was einer Masse von etwa 30 Erdmassen entsprechen könnte, so dürfte das für gewaltige Magnetfelder sorgen, die Durchaus in der Lage sind dem Stern die Rotation nehmen kann (siehe Grafik 17). Das bremst den Stern viel mehr als die Entwicklung der Rotation aller Körper.

Der gesamte Drehimpuls des Sterns geht demnach durch diese magnetische Ausbremsung verloren. Er verliert sich, weil alle Körper in seiner Nähe eine Rotation bekommen, weil alle vom Stern wegtreiben, soweit kein Planet zum Stern wird. Der Drehimpuls geht verloren, weil kleinere Körper auf größere abstürzen. Dort wandelt sich der Drehimpuls in Wärme um. Der letzte Faktor, der den gesamten Drehimpuls nimmt, liegt in der Drehung der Mondsysteme durch die Gasscheibe.

Auf diese Weise wird das Drehimpulsproblem der Sterne gelöst. Der Konsens wäre aber auch, dass letztendlich die Planetenentstehung die Sternentwicklung steuert.

¹²⁴ Der Braune Zwerg hat zudem eine Temperatur an der Oberfläche von 1500 Kelvin, und seine Gravitation ist 158,5 g.

2.11. Das Ring- und Kleinmondsystem der Gasplaneten

2.11.1. Die Kleinkörper bei den Gasplaneten

Wenn man sich mit dem Ring- und dem Kleinmondsystem beschäftigt, so steht das immer im Zusammenhang zur Gasaufnahme. Die Gasaufnahme und das dahinter liegende Prinzip als solches sind schon erklärt. Jetzt geht es nur noch darum, wie sich diese Kleinsysteme gebildet haben und welchem Zusammenhang sie mit der Gasaufnahme stehen. Man muss die Entwicklungsphase der Sonne vor Augen haben und kann dann aus der Struktur der Kleinkörper schließen, was näher passiert ist.

Man muss zwischen dem inneren und dem äußeren Kleinmondsystem unterscheiden. Das innere Kleinmondsystem steht in Verbindung mit dem Ringsystem und ist ein Kondensationsprodukt. Das liegt daran, weil der Planet und das Gas in der Nähe des Sterns so heiß waren und dann um den Planeten komprimiert wurden. Damit entstehen Körper, die nach außen hin größer werden, weil sie von innen nach außen wandern und dabei heranwachsen. Dieses innere Kleinmond- und Ringsystem ist damit auch ein weiterer Hinweis, dass alle Gasplaneten in der Nähe des Sterns waren.

Es geht dabei nicht nur um die Kondensation sondern auch darum, dass die Gasplaneten eine bestimmte Rotation vor der Gasaufnahme. Sie dürfte für alle vor der Gasaufnahme um 9 Stunden für einen Umlauf betragen haben. Damit hat die Strömung eine bestimmte Geschwindigkeit und sie plattet bedingt durch die Reynoldszahl des Gases nur in einem bestimmten Bereich ab. Nur da entstehen Körper. Daher hat das Ringsystem nur eine bestimmte Breite.

Das äußere Kleinkörpersystem wird durch das Gas eingefangen und gelang in eine Umlaufbahn um den Planeten. Ohne die Gasscheibe würden diese Körper abstürzen. Da sie aber innerhalb der Gasscheibe eine Dämpfung erfahren erleben sie den sanften Einfang und geraten in stabile Bahnen.

Beim Jupiter gibt es eine Ausnahme. Er hat neben dem einen Teil der Körper des Asteroidengürtels eingefangen.

2.11.2. Ring- und inneres Kleinmondsystem der Gasplaneten

Mit zunehmendem Abstand von der Sonne, aber auch mit abnehmender Inklination über die steigende Masse haben die äußeren Planeten begonnen, Gase aufzunehmen. Ursache für ihre Gasaufnahme ist der nachlassende Sonnenwind. Damit ist er in der Lage, das zu tun, was die Sonne tat. Diese Gase bilden eine Gasscheibe, darin kondensieren Körper, und diese bilden das Ringsystem und das anschließende Kleinmondsystem. In diesem System sieht man vor allen, dass sich die kleineren Körper zu größeren entwickeln, indem sie von innen nach außen wandern. Das Kleinmondsystem ist Resultat der Kondensation kleiner Körper, die dem Ringsystem entsprungen sind. Demnach haben alle Gasplaneten Ringsysteme und ein inneres Kleinmondsystem.

Da die Temperaturen der Planeten, nachdem sie aus dem Entstehungsbereich weggewandert sind, nicht all zu hoch gewesen sein können, bestehen alle diese Körper aus einem Kondensat geringerer Temperatur. Somit hat ein Mond wie Amalthea nur eine geringe Dichte (5.32.)¹²⁵. Diese spricht damit für eine andere Entstehungsgeschichte als die der Galileischen Monde. Informationen,

¹²⁵ Amalthea, einer der Kleinmonde in Jupiternähe, hat eine ausgesprochen niedrige Dichte, die in der Nähe des Wassereises liegt.

die dies unterstützen, sind rötliche Substanzen, die nur im Ringsystem von Saturn vorzufinden sind, aber nicht in seiner Atmosphäre (5.20.)¹²⁶. Material kondensiert und wird somit ausgefiltert.

Die Kondensation wird sich nicht nur auf Bildung von Kleinmonden ausgewirkt haben. Viele der Substanzen sind einfach hinausgetrieben und haben die großen Monde von der Rückseite getroffen. Daher findet man bei mehreren Monden des Saturns ein weißes Heck mit Schlieren, die sich bis zum Bug ziehen. Enceladus lag besonders günstig und ist daher völlig von dieser hellen Schicht ummantelt worden (9.2.)¹²⁷. Die weiße Schicht ist demnach ein aufgelegter äußerer Belag. Das gilt auch für Japetus, wo man annimmt, die dunkle Struktur auf der Heckseite sei aufgelegt. Das wäre aus meiner Überlegung verkehrt. Die dunkle Seite ist seine wirkliche Struktur. Er ist genau so dunkel, wie die C-Klasse der Asteroiden oder wie Chiron.

Zu Saturn kann man speziell feststellen, dass sich sein Mondsystem nur minimal gedreht hat. Das ist der Grund, warum sein Ringsystem so gut erhalten ist. Diese Behauptung ergibt nur einen Sinn, wenn man erkennt, dass die Magnetachsen die Rotationsneigungen eines Planetenkerns sind. Insofern wäre das Vorhandensein der Ringe ein indirektes Indiz für die angenommene innere Struktur der Gasplaneten.

2.11.3. Körpergrößen und Abstände im inneren Kleinmondssystem

Das innere Kleinmondssystem der Gasplaneten zeigt die Tendenz, dass bei einem größeren Körper in einer äußeren Bahn der Abstand zu einem kleineren Körper in einer inneren Bahn geringer ist. Hier erkennt man den Einfluss der Strömung des Gases, was sich dem Gasplaneten genähert hat. Diese führte dazu, dass sich kleinere Körper schneller vom Planeten entfernt haben als größere. Die Ursache liegt in der abnehmenden Abdrift mit zunehmender Größe.

Ein Beispiel plötzlich endender Strömung bietet das Paar Epimetheus und Janus. Die Bahn des kleineren Epimetheus ist um 50 Kilometer geringer als die Bahn von Janus. So treffen sich beide alle vier Jahre. Bei diesem Treffen wird Epimetheus beschleunigt und Janus etwas gebremst. Somit wird der Abstand kleiner und nach diesem Treffen wird der Abstand der Bahn wieder größer (13.11.)¹²⁸. Wären sie etwas näher zueinander oder etwas weiter von Saturn entfernt, würden sie zwangsläufig zusammen kommen. Die Gaszufuhr Saturns ist demnach beendet worden, kurz bevor dieses Zusammentreffen stattgefunden hätte. Somit bleiben sie das unerreichte Paar, was sich immer wieder nähert und doch nie erreicht.

¹²⁶ Die Ringe des Saturns enthalten rötliche organische Substanzen, die im Gasmantel bei Saturn nicht zu finden sind.

Sterne und Weltraum, 9-2001 - S. 723

¹²⁷ Laurence A. Sonderblom, Torrence V Johnson: „Die Monde des Saturn“ Spektrum der Wissenschaft 3/1982
Enceladus ist gänzlich von hellen Substanzen umhüllt. Tethys, Dione, Rhea und Japetus haben unterschiedliche helle Strukturen, die sich vom Heck zum Bug ziehen. Die Substanzen näherten sich den Körpern von hinten.
S. 157 ff

¹²⁸ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Epimetheus nähert sich alle 4 Jahre Janus mit einer Geschwindigkeit von 9,5 km/h. Dieser geringe Geschwindigkeitsunterschied liegt daran, dass der Unterschied im Abstand zu Saturn nur 50 km beträgt.

S. 75

2.11.4. Äußere Kleinmonde der Gasplaneten

Die eingefangenen äußeren Kleinmonde werden über die Gasscheibe des Planeten eingefangen, während er den Gasmantel sammelt. Dadurch werden Körper gebremst, die sich durch die Gasscheibe bewegen. Es sind Körper aus der äußeren Region des Entstehungsbereiches, und es handelt sich dabei meistens um Kometen. Diese Überlegung unterstützt die Tatsache, dass das äußere Kleinmondsystem von Saturn und Jupiter der äußeren Region des Asteroidengürtels spektroskopisch ähnlich ist (5.70.)¹²⁹ Phoebe wäre die einzige Ausnahme.

Die Gasscheibe des Gasplaneten, der sich außerhalb des Entstehungsbereiches weiterentwickelt, wirkt wie ein Kometenfänger. Sie hat die Richtung der Rotation des Planeten und später die Richtung der Rotationsebene des Mondsystems. Dieses wird gedreht, und damit dreht sich auch die Ebene der Gasaufnahme des Planeten.

Der Planet bleibt, während er sich von der Sonne entfernt in der Nähe der Ekliptik. Er kann demnach nur Kometen geringer Inklination umlenken. Das wären Kometen bis 30° und ab 150°. Die gegenläufigen Kometen fängt er zum großen Teil ein, und es fehlt dort das Maximum von 150° bis 180°. Daher haben wir bei den kurzperiodischen Kometen nur ein Maximum von 0° bis 30° (4.6.)¹³⁰.

Gegenläufige Kometen bewegen sich gegen diesen Strom, der sich um den jeweiligen Planeten befindet und werden besonders stark gebremst, wenn sie diese Gasscheibe durchdringen. Auf diese Weise sind zum großen Teil die gegenläufigen Kometen eingefangen worden, weil sie die größte Abbremsung innerhalb der Gasscheibe erfahren¹³¹. Dazu wirkt die Gravitation des Planeten.

2.11.5. Gegenläufige Kleinmonde des Jupiter

Jupiter hätte die Kometen eingefangen. In dieser Reihe kleiner Kometen ist die untere Grenzgröße zwei Kilometer Durchmesser. Die Größe bestätigt, dass die Körper eine Mindestgröße haben müssen, um die Ekliptik zu durchdringen. Der Wert, von ungefähr einem Kilometer Durchmesser für Körper höherer Dichte, ergab sich aus dem Fehlen von Körpern bestimmter Größe im Asteroidengürtel (20.1.)¹³². Da die Kometen geringerer Dichte sind, müssen sie größer gewesen sein. Der Wert von zwei Kilometern Durchmesser würde dem entsprechen.

Zudem fällt auf, dass sich nach mehreren kleinen Kometen ein größerer Komet auftaucht (siehe Tabelle 4) (5.28.). Da geht es um die Frage, wie sich eine solche Struktur erklären lässt. Die Kometen selber kommen aus den inneren Bahnen des Sonnensystems und wandern vom Stern weg. Demnach

¹²⁹ Die äußeren Kleinmonde von Jupiter und Saturn weisen das gleiche Spektrum auf wie die Körper des äußeren Asteroidengürtels.

Sterne und Weltraum 9-2004 - S. 12

¹³⁰ Sfountouris, Argyris "Kometen - Meteore - Meteoriten" 1986, Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich,

Nichtperiodische und kurzperiodische Kometen. Häufigkeit und Inklination

S. 128 f, Graphik,

¹³² David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Bei Asteroiden über 100 Kilometern Durchmesser sind 99% gefunden. Bis 10 Kilometer Durchmesser sind 50% gefunden. Körper ist zu einer Größe von einem Kilometer sind jedoch nur wenige Objekte gefunden worden, obwohl es eine Million geben dürfte.

S. 190

hat Jupiter diese Kometen eingefangen, als er Gase aufnahm und eine Gasscheibe gebildet hat. Vordem hat er noch Asteroiden eingefangen und im späteren Verlauf die gegenläufigen Kometen.

Die Körper in der Gasscheibe um den Stern entwickeln sich alle nach dem gleichen Prinzip. Alle müssen die Gasscheibe durchdringen, die die Sonne umgibt und haben daher diese Mindestgröße. Im gleichen Zuge wird über die Periheldrehung dafür gesorgt, dass sich aus einer Reihe gleich großer Körper einer dieser Körper durchsetzt und den nächsten Körper einfängt. Hat er es geschafft einen Körper einzufangen, so wird der Zahl der eingefangenen Körper immer größer, weil die Periheldrehung bei ihm nicht mehr so stark wirkt, wie bei den kleineren Körpern. Damit setzt sich in einer Reihe gleich großer Körper ein Körper durch, der sehr viel mehr Masse besitzt als alle anderen. Da Jupiter eine ganze Reihe Körper einfängt, findet sich immer wieder ein großer Körper dazwischen.

Betrachtet man die Intervalle der Körper, so werden die Reihen kleiner Körper kürzer, und die einzelnen Körper zwischen den Intervallen werden nach außen hin immer größer. Das ist damit zu erklären, dass sich Jupiter im Zuge seiner Entwicklung immer mehr vom Entstehungsbereich entfernt hat. Dadurch wird der sich durchsetzende große Komet noch größer. Das wäre die Logik, die sich hinter den Intervallen der eingefangenen Kometen von Jupiter versteckt.

2.11.6. Äußere Kleinmonde des Saturn

Saturn hat als einziger Planet mitläufige Kometen in mittleren Bahnen und in den äußersten Bahnen nur noch gegenläufige Kometen. Im Gegensatz zu den anderen Gasplaneten hat er schon in der Nähe des Entstehungsbereiches eine Gasscheibe entwickelt. Die Ursache für den Einfang mitläufiger Kometen hat damit zu tun, dass er verfrüht Gase aufnimmt. Im weiteren Verlauf entfernt auch er sich vom Entstehungsbereich nimmt durch die Gasaufnahme an Gasen zu und kann durch die größere Entfernung auch nur noch gegenläufige Kometen einfangen.

In einer Reihe von Kleinmonden ist Phoebe die Ausnahme. Er hat einen Durchmesser von 230 km mal 210 km (5.28.). Nach neueren Untersuchungen der Cassini-Huygens-Sonde hat dieser Mond eine Dichte von 1,6 g/cm³. Zudem ist die obere Schicht aus Eis (23.5.)¹³³ (siehe Tabelle 4, Seite 139). Demnach wäre er kein Komet, sondern nach meinen Überlegungen ein Körper mit leichtem Gesteinskern und einem Eismantel, den er von außen eingefangen hat. Es ist also nach dem gleichen Prinzip eingefangen worden wie Triton.

Saturn hatte sich in seiner frühen Entwicklung im äußeren Entstehungsbereich gebildet. Dabei war er noch sehr klein, und ihm ist es nicht gelungen, alle Körper einzufangen, da ihm die Masse fehlte. Daher sind kleinere Körper davon gewandert. Mit der Gasaufnahme und der steigenden Abdrift holt er diese Körper wieder ein. Wenn Körper von außen eingefangen werden, kommen sie in die gegenläufige Bahn, wie schon bei Triton beschrieben. Da die Gasscheibe zu der Zeit noch existierte, erlebte er einen gedämpften Einfang.

2.11.7. Äußere Kleinmonde des Uranus

Das äußere Kleinmondsystem und die Intervalle der Körper sind bei Uranus größer als das der inneren Gasplaneten. Das ist damit zu erklären, dass die Gasaufnahme später eingesetzt hat. Er hat in seiner Entwicklung noch nicht die T-Tauriphase erlebt, die zur frühen Gasaufnahme führt. Generell kann man dort erkennen, dass Kometen größer werden, wenn sie sich weiter vom Stern entfernen.

¹³³ Phoebes Dichte beträgt 1,6 g/cm³.

2.11.8. Äußere Kleinmonde des Neptun

Neptun hat bis auf Proteus sein gesamtes großes Mondsystem und auch sein äußeres Kleinmondssystem durch den Einfang von Monden und Planeten aus dem äußeren Bereich des Sonnensystems verloren. Der einzige kleine Körper ist Nereid und der hat die größte Exzentrizität aller Kleinkörper bei den Gasplaneten. Mittlerweile hat man zudem einen weiteren Kleinkörper gefunden, der sich in einer äußerst großen Umlaufbahn um Neptun befindet. Es ist sicher nicht auszuschließen, dass dort noch mehrere gefunden werden (5.56.)¹³⁴.

Bei Nereid fällt erst einmal auf, dass er nicht gegenläufig ist, wie alle äußeren Kleinmonde der anderen Gasplaneten. Nereid ist nämlich ein Gesteinskörper, der aus der äußeren Region kommt. Für den neuen Körper in dieser großen Bahn Neptuns gilt das gleiche. Zu dem Zeitpunkt, als die Kleinmonde eingefangen wurden, existierte die Gasscheibe nicht mehr. Dafür spricht auch der große Radius von Nereid. Damit fand dieser Einfang ungedämpft statt, womit sich die große Exzentrizität erklären ließ.

¹³⁴ Ein Mond von 38 Kilometern Durchmesser, einem Abstand von 49,5 Millionen Kilometern, einer Inklination von 124,2° und einer Exzentrizität von 0.27 ist bei Neptun gefunden worden.

2.12. Exoplaneten

2.12.1. Wechselwirkung zwischen Planeten und Sternen

Aus meinen bisherigen Überlegungen gibt es zwischen der Planetenentstehung und dem Stern eine Wechselwirkung. Einmal ist die Entwicklung von der Temperatur abhängig, da ich von der Kondensation ausgehe. Zum anderen ist sie davon abhängig welche Rotation der Stern erreicht. Bei steigender Temperatur bewegt sich der Entstehungsbereich vom Stern weg. Bei steigender Rotation verändert sich das Entstehen von Körper und ihre Klassen. Bei der Rotation werden bestimmte Schwellwerte erreicht, die überschritten eine ganz neue Entwicklungsphase einläuten.

2.12.2. Wechselwirkung zwischen Sternrotationen und Gasscheibe

Beim Stern muss man zwei Arten der Rotation unterscheiden. Es ist einmal die Rotation des Sterns selber und zum anderen die Rotation der Gasscheibe. Auch hier herrschen starke Wechselwirkungen. Die Gasscheibe entsteht ab einer bestimmten Sternrotation. In ihr entstehen Körper. Diese rotieren, stürzen in den Stern, erzeugen Magnetfelder und bremsen den Stern. Dieser ausgelöste Magnetismus hat eine hohe Bremswirkung auf den Stern. Dadurch rotiert die Gasscheibe schneller als der Stern.

Wenn nun der Stern langsamer rotiert als seine Gasscheibe entsteht auch eine Rückwirkung. Der Stern bremst die Gasscheibe. Hier ist die Wechselwirkung bedingt durch die Reibung der Oberfläche. Dabei hat die Gasscheibe das größere Drehmoment. Sein Mechanismus ist bedeutend schwächer als in die andere Richtung, aber er wirkt länger und am Ende effektiver.

Für unsere Betrachtung bedeutend, dass die einmal erreichte Rotation der Gasscheibe für eine längere Zeit erhalten bleibt. Das ist beim Überschreiten bestimmter Schwellwerte von hoher Bedeutung, denn eine anlaufende Entwicklung wird nicht sofort wieder ausgekoppelt. Aufgrund der Wechselwirkung zwischen der Gasscheibe und dem Stern ist das nicht möglich.

2.12.3. Entwicklungsprinzip und Klassen von Gasplaneten

Der wesentliche neue Gedanke in diesem Modell zur Planetenentstehung liegt darin, dass alle großen Körper in der Nähe der Sonne entstanden sind und von der Strömung des Gases weggetrieben werden. Demnach sind alle Körper hintereinander entstanden und haben sich gegenseitig eingefangen und größere Systeme gebildet, wie die der Gasplaneten. Es gibt unterschiedliche Klassen von Gasplaneten. Diese Klassen der Gasplaneten sind an die Klassen von Körpern gebunden, die aus dem Entstehungsbereich herauswandern.

Die Arten der Körper ergeben sich aus den verschiedenen Klassen, wie sie im Asteroidengürtel vorzufinden sind. Die Entwicklung der einzelnen Klassen ist abhängig von der Temperatur des Sterns. Damit verbunden ist die Rotationsgeschwindigkeit eines Sterns. Mit steigender Temperatur war die Rotation in den frühen Entwicklungsphasen eines Sterns höher. Das nimmt wiederum Einfluss auf die Bildung der unterschiedlichen Klassen, die aus dem Asteroidengürtel herauswandern. Zum Beispiel setzt die Bildung der Körper mit Eisenkern, also Körper der M-Klasse, später ein. Die Bildung der Körper aus der E-Klasse, wie etwa Pluto oder Triton, tritt früher ein. Dieses versetzte Entstehen bleibt bei allen Sterntemperaturen erhalten. Sie verschiebt sich nur in spätere Phasen, wenn man sich zum Beispiel zu kühleren Sternen bewegt. Aus diesen unterschiedlichen Klassen von Körpern bilden sich die Klassen der Gasplaneten. So kann man sagen, dass Neptun als ein Vertreter der E-Klasse zu verstehen ist und Jupiter ein Vertreter der M-Klasse ist.

Zudem kommt die Wechselwirkung dieser beiden Klassen von Körpern bevor sie zu Gasplaneten werden. Dadurch, dass die M-Klasse die E-Klasse abschneidet, ist es der E-Klasse möglich gewesen, Gasplanet zu werden. Das ist so zu verstehen: In der frühen Phase unserer Sonnensystems sind lauter Kleinplanetensysteme entstanden. Ein Pluto wandert in die C-Klasse der Asteroiden und fängt einen Mond der C-Klasse ein. Dann folgt Triton und macht das gleiche. Vielleicht fängt er auch zwei Monde der C-Klasse ein, aber dann kommt der nächste Körper der E-Klasse schneidet die Entwicklung ab. Das ist das Problem der Kleinmondsysteme. Es wird nun unterbrochen, weil plötzlich die Körper der M-Klasse auftreten und die Entwicklung der E-Klasse abschneidet. Damit wandern nur noch Körper der C-Klasse aus dem Entstehungsbereich heraus und der letzte Körper der E-Klasse sammelt eine ganze Reihe Körper der C-Klasse ein. Damit erreicht er erst die Masse, um die Inklination zu senken und zum Gasplaneten zu werden. Neptun war in unserem System der erste, dem das gelang. Um das richtig zu verstehen muss man sich über die Entwicklungsgeschwindigkeiten der einzelnen Klassen im Klaren sein. Die M-Klasse mit Eisenkern entwickelt sich sehr langsam und verlässt den Entstehungsbereich auch mit geringer Abdrift. Dadurch können sich während dieser Zeit so viele Körper der C-Klasse bilden, die von dem letzten Körper der E-Klasse eingefangen werden. Das Entstehen der M-Klasse stört demnach die Entwicklung der E-Klasse und sorgt damit für die ungestörte Entwicklung der C-Klasse.

Sobald Neptun mit der Gasaufnahme beginnt, sammelt er die Kleinmondsysteme ein, zerstört dadurch sein Mondsystem und sie stürzen zum größten Teil bis auf Triton ab. Das ist nur möglich, weil die Kleinplaneten, wie Pluto und Triton noch keine Gase aufnehmen können. Ihre Abdrift bleibt weiterhin gering.

Neben dem Massengewinn durch die Gasaufnahme ist der zusätzliche Massengewinn durch die Einnahme dieser Kleinmondsysteme bestimmt. Deswegen hat er in unserem Sonnensystem mehr Masse als Uranus.

Wesentlich bei der Betrachtung der kühlen Sterne sind daher diese beiden Typen von Gasplaneten, die ich mit Jupiterklasse und mit Neptunklasse bezeichnen möchte. Sie zeigen eine Wechselwirkung in ihren einzelnen Körper während das Sonnensystem entsteht. Bei sehr kleinen Sternmassen entwickelt sich nur die C-Klasse.

2.12.4. Die Klassen der Exoplaneten und die Sternmasse

Im Bereich der Sterne von 0,3 und 0,4 Sonnenmassen entwickelt sich die C-Klasse der Gasplaneten, wie Saturn oder Uranus ungestört. Daher hat man dort eine Anhäufung von Exoplaneten.

Unterhalb von 0,7 Sonnenmassen entstehen nur Kleinmondsysteme die einem Pluto entsprechen. Pluto steht als Vertreter der E-Klasse. Diese stört ständig, die C-Klasse und damit können sich keine größeren Planetensysteme bilden (siehe Grafik 26).

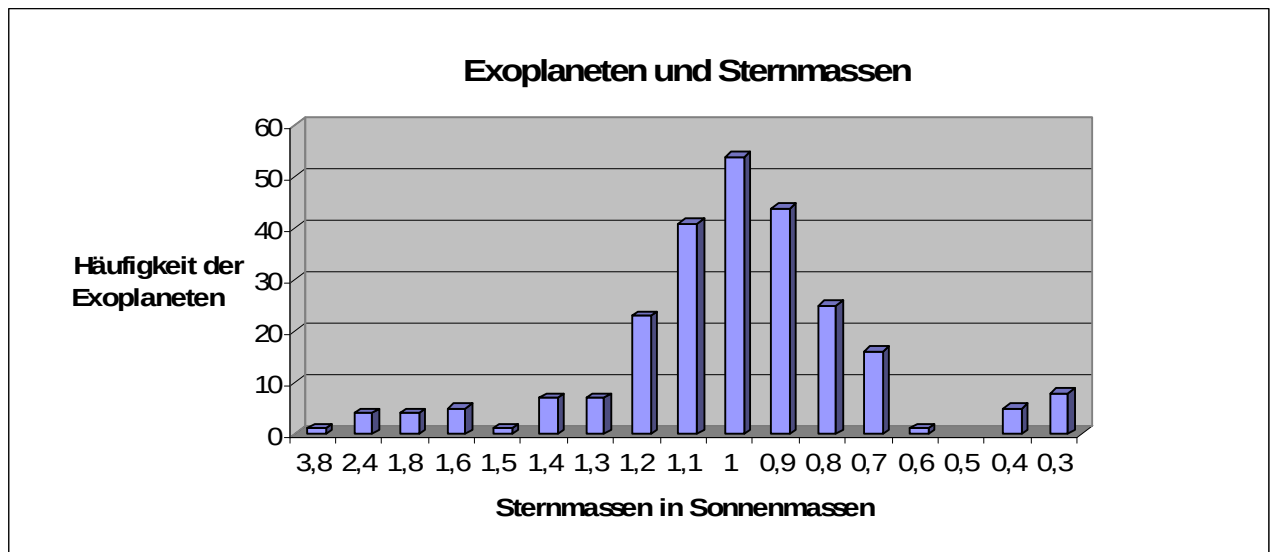
Ab 0,7 Sonnenmassen bildet sich die M-Klasse aus und stört die Entwicklung der E-Klasse. Der letzte Körper der E-Klasse sammelt daher ungestört Körper der C-Klasse ein und bildet sich zum Gasplaneten. Aus diesem Gasplaneten können sich, wie vorher beschrieben, Doppelsterne in größeren Abständen bilden.

Ab 0,8 Sonnenmassen entwickelt sich die M-Klasse zu Gasplaneten. Das zeigt sich darin, dass die Häufigkeit der Exoplaneten in Sternnähe zunimmt. Die M-Klasse ist die einzige Klasse, die in der Lage ist ohne die T-Taurikrise in Sternnähe zu bleiben. Zwangsläufig entwickelt sie sich daher bei den G-Sternen auch zu den ersten engen Doppelsternen. Das sind die RS-Canum-Venaticorum-Sterne.

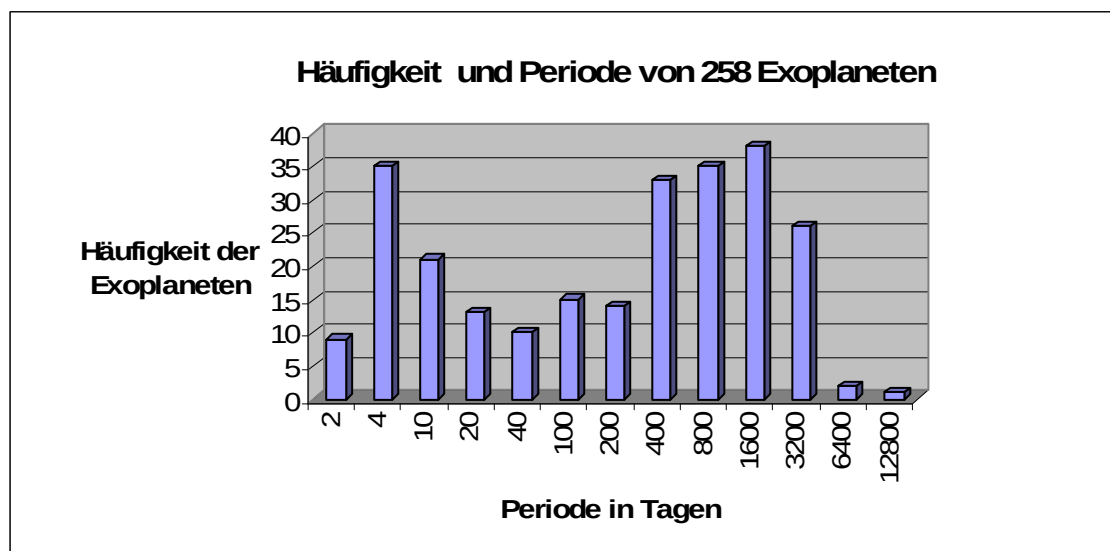
Ab 0,9 Sonnenmassen setzt die T-Tauriphase ein und führt zur verfrühten Gasaufnahme. Damit entwickeln sich Gasplaneten günstiger, und es bilden mehr Gasplaneten es bilden sich in dem Sinne noch mehr Jupitertypen.

Bei 1,1 Sonnenmassen beginnen die F-Sterne und die Rotation der Sterne nimmt mit einem Mal zu. Das gilt auch für die Gasscheibe. Dies sorgt dafür, dass die Körper eine höhere Abdrift erfahren und sich schneller vom Stern entfernen. Die Häufigkeit der Gasplaneten nimmt wieder ab, weil weniger Körper in der Nähe bleiben. Das fällt besonders auf bei Sternen mit 1,5 Sternmasse auf.

Ab 1,6 Sonnenmassen steigt die Rotation nicht mehr sehr stark an und die Häufigkeit der Exoplaneten wächst wieder an. Die Abdrift nimmt nicht mehr zu. Es ist aber auch so, dass sich mehr Exoplaneten nun zum Sterne entwickeln.



Grafik 26: Häufigkeit der Sterne mit Exoplaneten¹³⁵



Grafik 7: Häufigkeit und Perioden der Exoplaneten¹³⁶

Oberhalb von 1,6 Sonnenmassen steigt die Häufigkeit der Exoplaneten wieder an, weil die Rotationen der A-Sterne ihr Maximum erreicht hat. Die Massen der Planetenkern werden nicht mehr größer, aber dafür werden es mehr Planeten. Die Entwicklung des Sterns dauert länger und daher treten mehr Exoplaneten auf, die sich aber auch sehr schnell zum Stern entwickeln können. Die Häufigkeit der Doppelsterne erklärt sich über die längere Entwicklung des Sterns.

¹³⁵ Eigene Grafik: Ausgewertet aus 230 Sternen Die Grafik hat keine proportionale Aufteilung auf der x-Achse.

¹³⁶ Die Grafik ist eine eigene Auswertung. Die Auswertung bezieht sich auf Tabelle 8

2.12.5. Perioden der Exoplaneten und Gasaufnahme

Betrachtet man den Periodenverlauf aller Exoplaneten, so fallen zwei Maxima auf. Ein Periodenmaximum liegt bei vier Tagen und das zweite zwischen 400 bis 3200 Tagen (siehe Grafik 7). Die erste Periode erklärt sich daraus, dass der Planet Masse zunimmt und die Abdrift kleiner wird. Es bezieht vor allem auf Gasplaneten vom Jupitertyp, die einen Eisenkern vorweisen. Sie treten erst bei Sternen mit 0,8 Sonnenmassen auf. Erst bei dieser Masse entwickelt sich das Mondsystem voll und der Planet sammelt eine große Dichte, bei der er trotz der Gasaufnahme nicht den Stern verlässt. Nur die T-Taurikrise erreicht es noch, dass dieser Planetentyp vom Stern wegwandert.

Die zweite und große Periode erklärt sich aus dem Grenzwert der Gasplanetengröße. Gasplaneten werden nicht viel größer als Jupiter. Sammeln sie während sie wegwandern mehr Gase ein, nimmt die Dichte wieder zu und auch da geht die Abdrift wieder gegen Null. Daher setzen sich Gasplaneten allgemein auf größere Perioden fest.

2.12.6. Prinzip der Perioden der Exoplaneten

Bei dieser Periode von vier Tagen erreicht der Planet mit dem Einfangen der Monde eine so hohe Masse, dass die Abdrift gegen Null geht. Das hat die Ursache darin, dass die Masse schneller wächst als die Reibungskraft. Die Reibungskraft wirkt auf die Oberfläche, und diese steigt in geringerem Maß als die Masse. Deswegen bleibt der Planet bei der Periode von 4 Tagen eine geraume Zeit.

Im gleichen Zuge nimmt die druckbelastete Dichte zu. Damit sinkt die Inklination, und er gelangt in den Schutz der Gasscheibe. Damit beginnt die Gasaufnahme, die Dichte nimmt ab und der Gasplanet wandert aus dieser Periode von 4 Tagen heraus. Der Gasplanet erreicht bei der weiteren Gasaufnahme jedoch eine obere Grenze seiner Größe. Er wird nicht viel größer als Jupiter und nimmt damit in der weiteren Entwicklung an Dichte zu. Damit geht die Abdrift wieder gegen Null. Erklärt sich das zweite Maximum zwischen 400 und 3200 Tagen.

Hinzu kommt ab 0,8 Sternmassen den zweiten Faktor der T-Taurikrise, wo Gase sehr früh und in sehr großem Umfang aufgenommen werden. Das führt zu einem starken Dichteverlust des Gasplaneten großen Sprüngen bei den Perioden.

2.12.7. Die Gasaufnahme von Planeten und die Klassen von Körpern

Die einzelnen Perioden der Exoplaneten, so haben ganz typische Strukturen bei den unterschiedlichen Sternmassen. Dafür gibt es Gründe.

Man sollte allgemein festhalten, wie die Gasaufnahme der Planeten funktioniert. Die Gasaufnahme ist nur abhängig von der Dichte des jeweiligen Körpers. Nur diese entscheidet über die Gasaufnahme eines Planeten.

Ich unterscheide drei Klassen von Körpern unter den Festkörpern. Es gibt die Körper der C-Klasse, die Körper der E-Klasse und die der M-Klasse. Diese Klassen erreichen für sich eine unterschiedliche Dichte. Von der C- bis zur M-Klasse nimmt die Dichte der Körper zu. Die M-Klasse hat demnach von vorne herein die größte Dichte, weil sie den Eisenkern hat. Alle Körper müssen über die druckbelastete Dichte, also über ihre eigene Gravitation einen bestimmten Wert der Dichte erreichen, um Gase aufnehmen zu können. Dabei spielt die Masse des Körpers eine Rolle.

Die M-Klasse hat im Schnitt nicht nur die größte Dichte, sondern auch die größte Masse. Die größere Masse sorgt demnach schon in der frühen Phase für eine kleinere Abdrift. Der Planet dieser Art hat bis zur Gasaufnahme eine kleinere Strecke zurückgelegt, und hat sich demnach nicht so sehr vom Stern entfernt. Er erreicht zudem als erster Körper die Massengrenze, bei der die druckbelastete Dichte, über die eigene Gravitation dazu führt, dass der Wert der Dichte größer wird. Bei der M-Klasse ist es zudem so, dass die kleinen Körper gleich zu Beginn, die größte Dichte haben. Sie haben daher am Anfang die geringere Abdrift als Körper geringerer Dichte. Sie entfernen sich als kleine

Körper schon langsamer vom Stern. Hier sind mehrere Gründe, die erklären, warum die M-Klasse dazu neigt in Sternnähe zu bleiben. Er ist der Gasplanet, der die Perioden bei 4 Tagen der Wahrscheinlichkeit nach am meisten belegt.

Da sich bei bestimmten Sternmassen nur bestimmte Klassen von Gasplaneten bilden, kann man an den Perioden erkennen, welche Klasse der Gasplanet hat.

Der zweite Faktor der Gasplaneten aus kleinen Perioden heraus wirft, ist die T-Tauriphase eines Sterns. Beginnen ab 0,8 Sonnenmassen und nehmen zu den größeren Massen einen immer stärkeren Einfluss auf den Stern. Die Wirkungsweise liegt äußert sich darin, dass der Stern kleiner wird und der Sonnenwind abgeschwächt wird. Der Grenzwert der Dichte, wird durch den abgeschwächten Sonnenwind nach unten gesetzt.

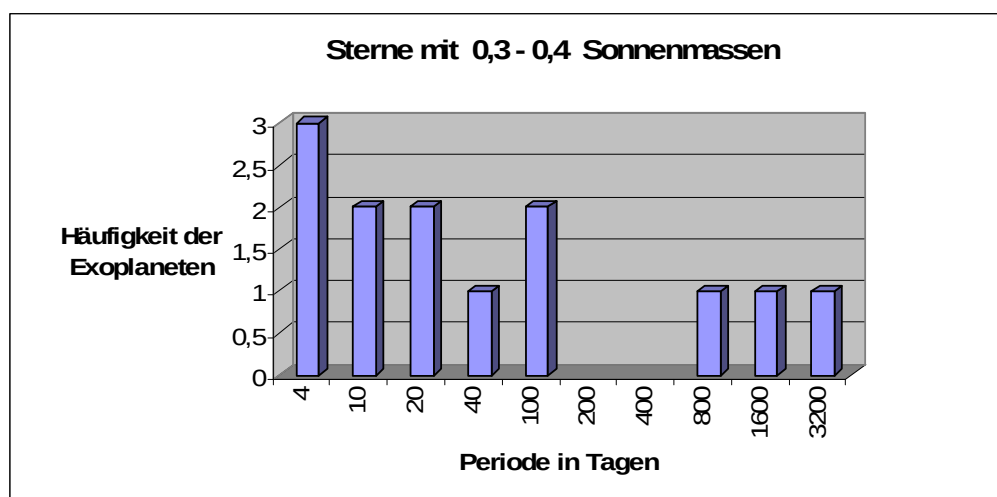
Bei den Sternen ab 1,1 Sonnenmassen, steigt die Rotation des Sterns. Damit plattet die Gasscheibe des Sterns wieder stärker ab und die erwartete Dichte der Körper vor der Gasaufnahme steigt. Durch diese erhöhte Rotation werden zudem alle Körper, ob nun Planeten oder Monde größer. Auch die Inklination der einzelnen Klassen wird größer.

Das sind grundlegende Dinge, die man wissen muss, wenn man wissen muss, um die Perioden aber auch die Häufigkeiten von Exoplaneten im Bezug auf die Gasaufnahme zu verstehen.

2.12.8. Sternmassen und Periodenveränderung bei Exoplaneten

Bei den Exoplaneten der Sterne mit 0,3 bis 0,5 Sonnenmassen ist eine leichte Anhäufung im Periodenbereich bis zu 100 Tagen. Hier sammeln die Körper der C-Klasse, weil sie sich ungestört entwickeln können. Sie haben eine nicht so hohe Dichte und Masse und erreichen die druckbelastete Dichte erst zum späteren Zeit. Das heißt sie sind in der Zeit weiter vom Stern weggewandert.

Bei 0,5 und 0,6 Sonnenmassen gibt es keine Gasplaneten, weil die E-Klasse die C-Klasse stört. Es gibt dort nur Kleinplanetensysteme und keine Gasplaneten.



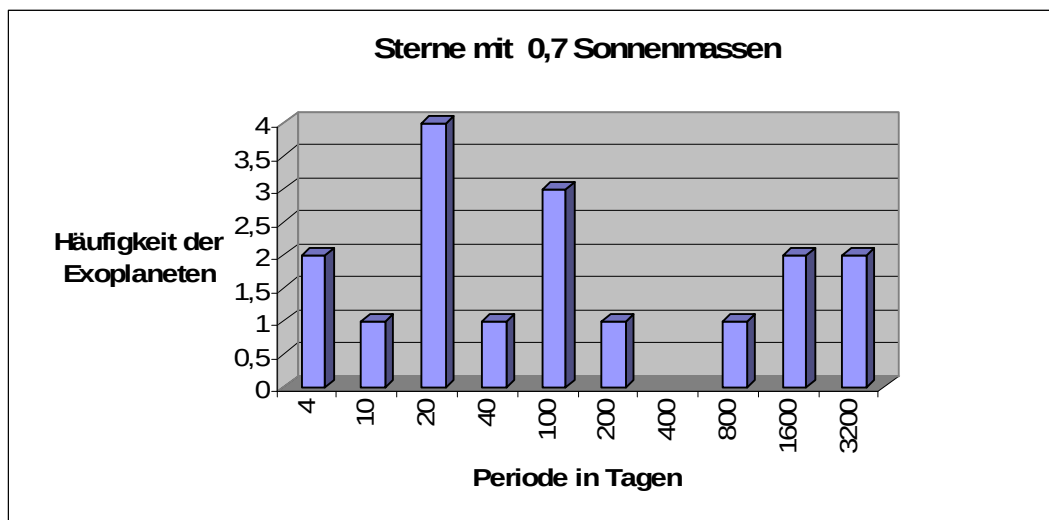
Grafik 27: Exoplaneten bei Sternen mit 0,3-0,4 Sonnenmassen ¹³⁷

Bei den Exoplaneten der Sterne mit 0,7 Sonnenmassen hat man ebenfalls keine Anhäufung bei 4 Tagen zu sehen. In dieser Phase bilden sich die Gasplaneten der C-Klasse. Die C-Klasse tritt hier aber auf bei die M-Klasse die E-Klasse abschneidet. Wir haben es hier mit einer doppelten Störung zu tun. Die Körper der M-Klasse sind aber noch zu wenige um selber Gasplaneten zu bilden.

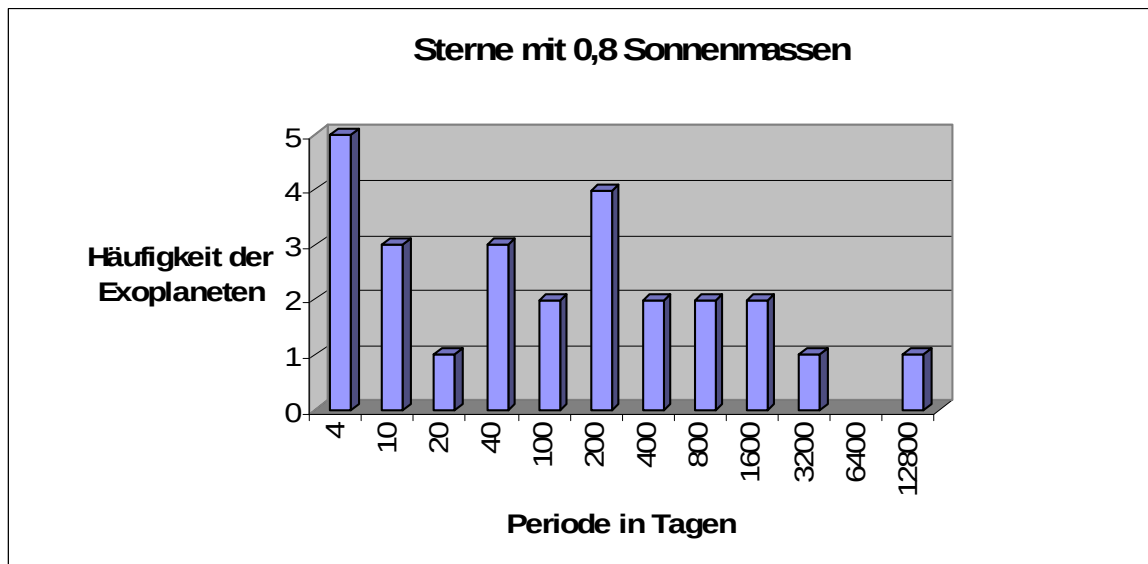
¹³⁷ Die Grafiken 26 bis 36 sind selber entwickelt.

Bei den Exoplaneten der Sterne mit 0,8 Sonnenmassen tritt zum ersten Mal bei den Perioden von 4 Tagen eine Anhäufung auf. Hier entwickeln sich die Körper der M-Klasse zu Gasplaneten. Die restlichen Körper verteilen sich aber recht gleichmäßig über alle Perioden.

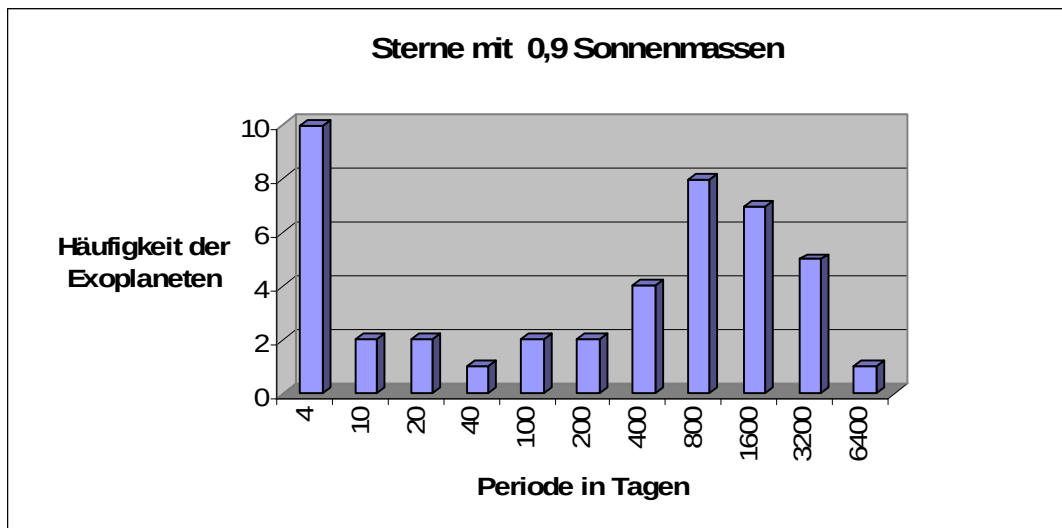
Bei Sternen mit 0,9 Sonnenmassen wirkt die T-Tauriphase und führt zu immer stärkeren Sprüngen der Exoplaneten durch die frühe Gasaufnahme. Der Einfluss ist noch recht schwach. Daher ist die Wahrscheinlichkeit bei dieser Sternmasse sehr hoch, dass der Bildung der Gasplaneten zum engen Doppelstern führt. Es entstehen die RS-Canum-Venaticorum-Sterne. Vergleich man das mit unserem Sonnensystem, so bleibt ein Titan im Jupitersystem, weil er nicht zu früh Gase aufnimmt. Bei dieser Sternmasse findet man unter den Mehrfachsystemen die meisten Planeten hoher Masse in den kleinen Perioden (Tabelle 9). Das wäre die Vorentwicklung zum Doppelstern, der sich aus dem Jupitertyp entwickelt.



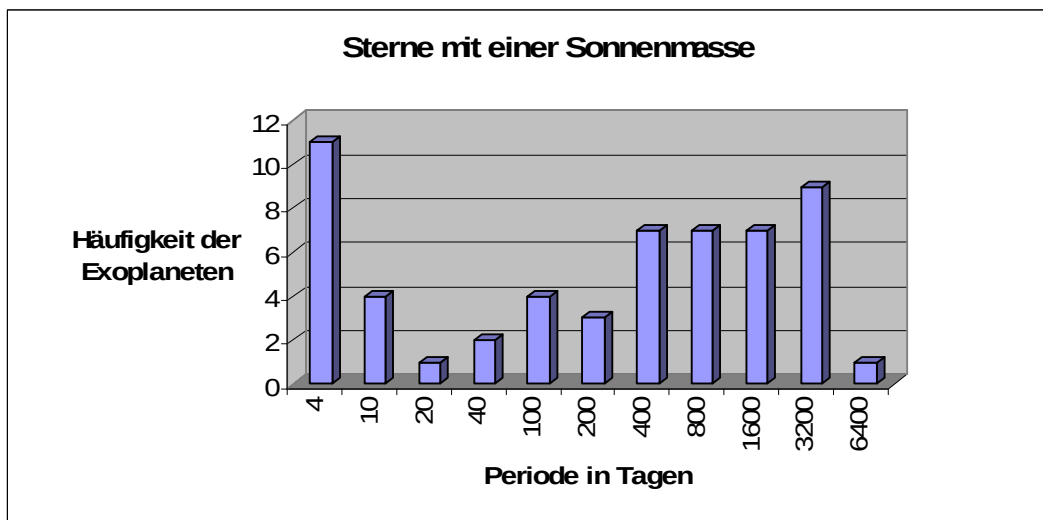
Grafik 28: Exoplaneten bei Sternen mit 0,7 Sonnenmassen



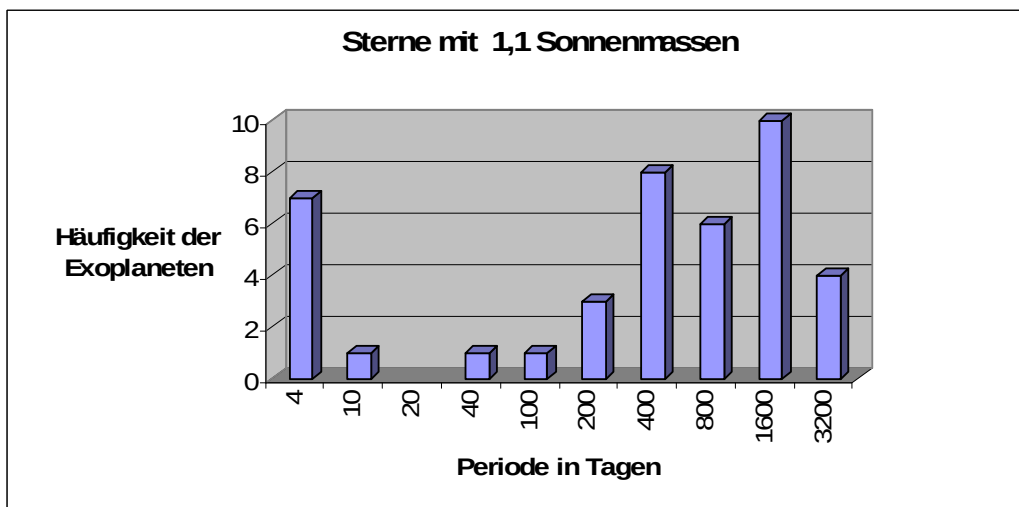
Grafik 29: Exoplaneten bei Sternen mit 0,8 Sonnenmassen.



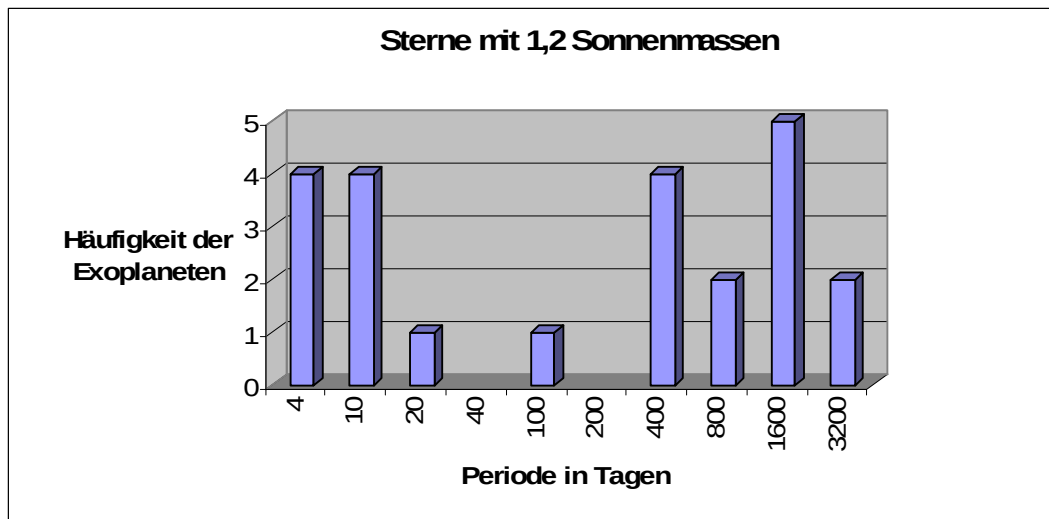
Grafik 30: Exoplaneten bei Sternen mit 0,9 Sonnenmassen.



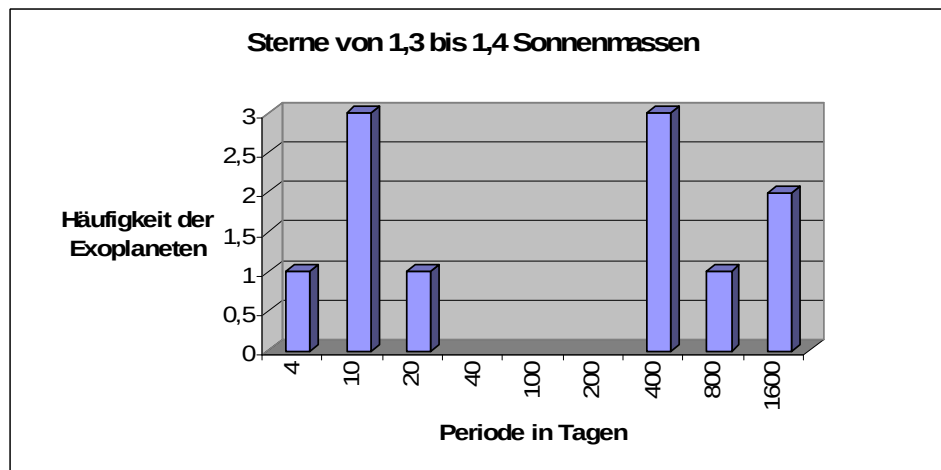
Grafik 31: Exoplaneten bei Sternen mit einer Sonnenmasse



Grafik 32: Exoplaneten bei Sternen mit 1,1 Sonnenmassen



Grafik 33: Exoplaneten bei Sternen mit 1,2 Sonnenmassen



Grafik 34: Exoplaneten bei Sternen mit 1,3 und 1,4 Sonnenmassen

Bei den Exoplaneten von Sternen mit einer Sonnenmasse entstehen die engen Doppelsterne kaum mehr, es bleiben aber noch viele Exoplaneten in Sternnähe. Darüber hinaus wandert der Entstehungsbereich immer weiter vom Stern weg und damit sinkt die Häufigkeit der Perioden von 4 Tagen und wandert zu größeren Perioden. Zudem wird die Rotation der Gasscheibe ab 1,1 Sonnenmassen größer und die Massen der Planeten steigen. Es gibt weniger Planeten, Monde und auch Exoplaneten. Man kann dann davon ausgehen, dass die Dichte des festen Planetenkerns ab 1,2 Sonnenmassen größer wird.

Ein gutes Beispiel ist der Exoplanet Hd149026. Er hat nur 0,36 Jupitermassen, aber eine Dichte von $1,17 \text{ g/cm}^3$ (42.1.)¹³⁸. Sein Stern hat 1,2 Sonnenmassen. Er ist demnach in dem Bereich, wo die Rotation des Sterns wieder steigt. Bei ihm müssen 60 % bis 70 % seiner Masse aus festen Materialien bestehen und der Rest aus Gasen oder flüssigem Material. Bei diesem Stern müsste sich nachweisen lassen, dass die Rotation besonders hoch ist. Er wäre dann ein Beweis, dass die Rotation

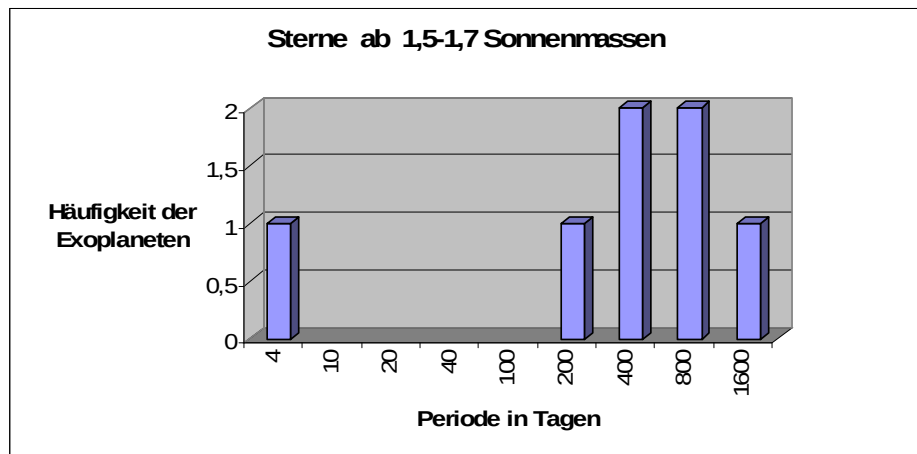
¹³⁸ Zeitschrift „Physik in unserer Zeit“ WILEY-VCH-Verlag GmbH, 69451 Weinheim, 2006

Die Dichte von 10 Exoplaneten.

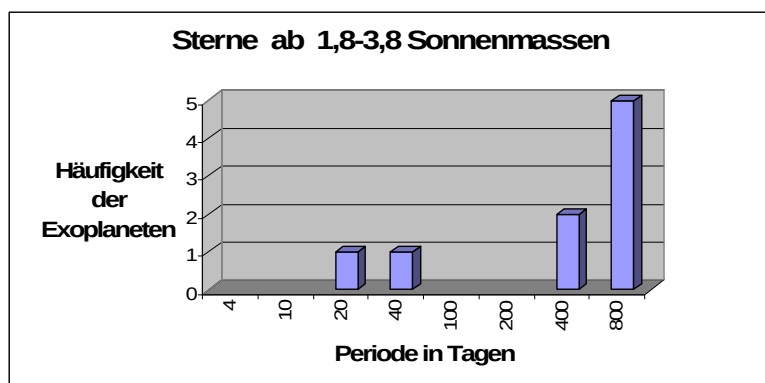
S. 290, Grafik,

den Planetenkern von Gasplaneten und damit den daraus entstehenden Zweitsternen bei größeren Sternmassen vergrößert. Dieser Zweitstern wird in den weiteren Betrachtungen als Vertreter des Erdtypen, und der Ap- und Bp-Sterne bezeichnet. Das sind Sterne, die eher die Hauptreihe verlassen, weil dieser komprimierte Planetenkern im Zweitstern die Fusion beschleunigt. Aus ihm entsteht später auch die Zwergnova, deren Zündmechanismus der Eismantel eines Planetenkerns ist. Daher ist die hohe Masse des Planetenkerns dieses Exoplaneten von hoher Bedeutung.

Die Perioden der Exoplaneten verteilen sich bei den Sternen höherer Masse auf eine kleine und eine größere Periode. In diesen Perioden finden sich zu den höheren Sternmassen, also im A-Sternbereich die Doppel- und Mehrfachsternsysteme.



Grafik 35: Exoplaneten bei Sternen ab 1,5 Sonnenmassen



Grafik 36: Exoplaneten bei Sternen ab 1,8 Sonnenmassen

2.12.9. Mehrfachsysteme bei den Exoplaneten

Bei den Mehrfachsystemen der Exoplaneten ist festzustellen, dass bis 0,8 Sternmassen der äußere Körper kategorisch die größere Masse besitzt. Durch das Abwandern der Exoplaneten, werden sie größer. Es handelt sich hier nur um C-Klassen. Bei 0,8 Sonnenmassen ist der Gasplanet in großen Perioden jedoch ein Körper der E-Klasse und Kandidat zum Doppelstern mit großen Perioden.

Bei Sternen mit 0,9 Sonnenmassen herrscht die größere Masse bei den kleineren Perioden. Man hat es da mit dem ungestörten Jupitertyp zu tun.

Bei einer Sonnenmasse ist das Verhältnis des größten Gasplaneten noch gekippt. Geht man aber zu den größeren Sternmassen weiter, so setzt sich der Gasplanet in den großen Perioden bei Mehrfachsystemen als Körper größer Masse durch. Der Jupitertyp ist in der zweiten Position während sich der Erdtyp zum Gasplaneten entwickelt und die kleine Periode belegt (siehe Tabelle 9).

2.12.10. Metallizität des Sterns und Exoplaneten

Die Eisenhäufigkeit in Sternen mit nahen Exoplaneten ist höher und wird durch die Exoplaneten selber ausgelöst (Grafik 37). Die Exoplaneten sorgen für eine große Periheldrehung der Körper in unmittelbarer Sternnähe. Dadurch wandern die Sinusverläufe der Körper, die in die Gasscheibe eindringen. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Körper zusammen treffen und damit kommen sie eher zum Absturz.

Aus Grafik 26 entnimmt man, dass Gasplaneten ab 0,7 Sonnenmassen in immer Häufiger Zahl auftreten. Ab dieser Sternmasse können mehrere Gasplaneten bei einem Stern entstehen, die immer wieder vom Stern wegwandern. Das führt dazu, dass die Häufigkeit der abstürzenden Körper konstant hoch ist. Es ist damit nicht verwunderlich, dass damit bei 0,8 Sonnenmassen die T-Tauriphase einsetzt. Es sind bis dahin viele Körper abgestürzt, haben die Sonnenflecken erzeugt, und diese vermindern die Fusion in tieferen Regionen. Das führt zur Verkleinerung des Sterns, was eine der Eigenschaften der T-Tauristerne ist.

Da sich der Entstehungsbereich von 0,7 Sonnenmassen bis 1,1 Sonnenmassen immer mehr vom Stern trennt, weil die Körper in größerem Abstand zum Sternentstehen, stürzen immer weniger Körper ab. Wenn die Körper, die Metallizität im Stern erzeugen, muss sie in dieser Richtung abnehmen. Spätestens ab 1,1 Sonnenmassen trennt sich der Entstehungsbereich vom Stern. In dem Bereich der Sternmasse gibt es noch einige Exoplaneten. Bei ihnen muss die Metallizität niedriger sein. Das wäre eine qualitative Aussage zu meinem Entstehungsmodell für Körper um einen Stern.

2.12.11. Massenverteilung der Exoplaneten bei unterschiedlichen Sternmassen

Im Bereich der Sterne 0,3 bis 0,4 Sonnenmassen sind die Exoplaneten größter Masse in größeren Bahnen. Es verwundert aber auch, dass so kleine Sterne so große Planeten entwickeln können. Das liegt daran, dass die C-Klasse viel Eis sammelt. Es legt aber auch daran dass außerhalb des Kuiper-Gürtels, also oberhalb von 47 AE keine großen Körper. Diese Region ist aber gefüllt von kleinen Chondren unterschiedlicher Kondensationsstufen, die die Region bevölkern. Wandern nun ein Gasplanet in diese Region, kann er all diese kleinsten Körper einfangen. Da die Exoplaneten der kühlen Sterne dieser Region nahe liegen, gelangen sie sehr früh in diesen Bereich. So ist es zu erklären, dass bei einem Stern mit 0,5 Sonnenmassen die Masse des Gasplaneten 18 Jupitermassen beträgt.

Bei den Sternen mit 0,7 und 0,8 Sonnenmassen, - man findet sie aber auch noch bei Sternen 0,9 Sonnenmassen, - scheinen diese Exoplaneten den Exoplaneten der M-Sterne sehr ähnlich zu sein. Es ist jedoch so, dass der Neptuntyp die große äußere Masse mitbringt. Ein schönes Beispiel sind die fünf Exoplaneten von Stern „55cnc“, der 0,94 Sonnenmassen mit sich bringt. Dort ist der erste Exoplanet der Erdtyp, der zweite ist der Jupitertyp, der dritte entspricht Saturn, der vierte ist Uranus und der letzte und Exoplanet mit der größten Masse ist Neptun (siehe Tabelle 9). Dieses System ist mit unserem Sonnensystem identisch. Die Massenverhältnisse der Planeten variieren jedoch.

Bei den Sternen mit 0,9 und einer Sternmasse dominiert wieder der Jupitertyp gegenüber anderen Gasplaneten. Man hat es da mit einem Aufbau der Gasplaneten zu tun, der unserem Sonnensystem ähnlich ist. Damit findet man Gasplaneten größerer Masse oft in kleineren Perioden und die Gasplaneten geringerer Masse haben größere Regionen.

Zu Sternmassen oberhalb der Sonne wandert Jupitertyp weg und der Erdtyp taucht bei kleinen Perioden auf. Der Gasplanet mit der größeren Masse befindet sich dort wieder in großen Bahnen. Die Region zwischen den beiden Perioden leert sich, weil sich die Massen ganz stark auf die beiden Perioden konzentrieren. Man muss es so verstehen, dass der Jupitertyp oder der Erdtyp wegen der steigenden Rotation stark an Dichte zunimmt. Damit hat der Gasplanet eine kleine Abdrift und somit treiben alle kleineren Körper zwischen diesen Regionen zum großen Körper. Im Sonnensystem ist es noch so gewesen, dass Jupiter mit dem Rest des Entstehungsbereichs vom Stern wegwandert. Somit blieb der Astroidengürtel erhalten. Durch die frühe Gasaufnahme hat er sich wieder von ihm getrennt.

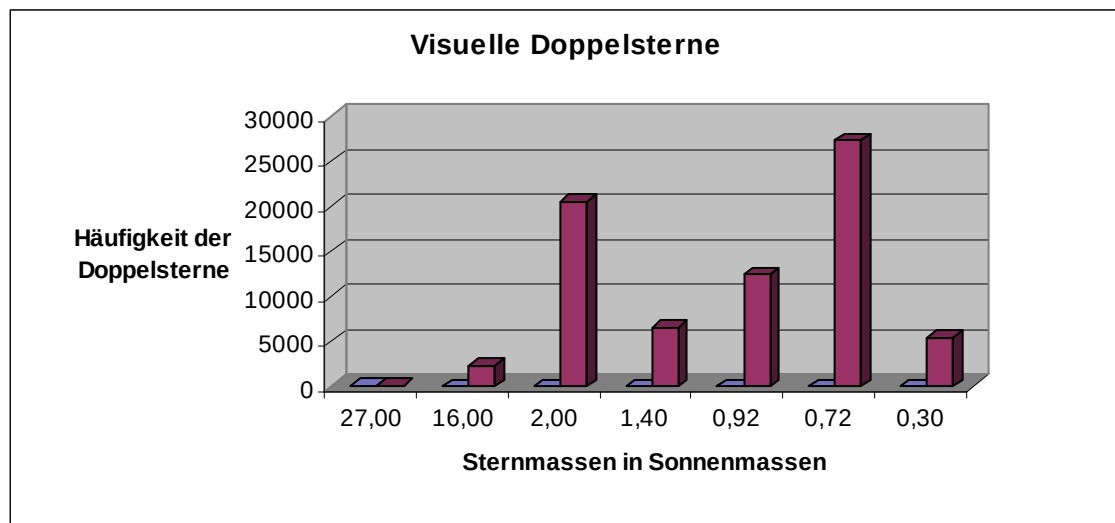
2.12.12. Bedeutung der Braunen Zwerge

Es gibt kaum Braune Zwerge. So könnte man zu dem Schluss gelangen, darin läge die Trennung der Entwicklung von Sternen und Planeten.

Die Braunen Zwerge sind jedoch deswegen so selten, weil ihre Dichte so hoch ist. Damit haben sie eine verschwindend geringe Abdrift und entwickeln sich so schnell, weil sie das abdriftende Material so schnell zum Braunen gelangt. Damit ist seine Entwicklungsgeschwindigkeit so hoch. Ist er an der Entwicklungsgrenze zum Stern treibt er die Entwicklung des Sterns über seine Rotation an. Er verlängert dadurch auch seine Entwicklung. Somit ist der Schritt vom Braunen Zwerg zum Stern sehr klein. Daher gibt es sie kaum.

2.12.13. Exoplaneten und Doppelsterne

Betrachtet man nur Grafik 26 und 37, so sieht man den direkten Zusammenhang zwischen den Exoplaneten und den Doppelsternen. Der Anstieg bei 0,7 Sonnenmassen zeigt eindeutig diese Ähnlichkeit. Die Ursache ist in vorigen Texten schon erklärt. Neptun kann sich nur bilden, weil auch Körper der M-Klasse entstehen, die zur Jupiterklasse der Gasplaneten zählen. Der zentrale Gedanke liegt darin, dass sich Neptun nur bilden kann, wenn die M-Klasse die E-Klasse abschneidet. Damit sammelt Neptun die Körper der C-Klasse ein wird zum Gasplanet, wandert weg und sammelt Kleinplanetensysteme ein. Er entwickelt sich demnach weiter in größeren Perioden zum Stern. Das passt zu dem, dass die Perioden der Doppelsterne mit zunehmender Sternmasse kleiner werden (12.4.)¹³⁹.



Grafik 37: Häufigkeit der visuellen Doppelsterne und Sternmasse ¹⁴⁰

Aus dem Vergleich der Exoplaneten mit den Doppelsternen sieht man aber auch einen kleinen Anstieg ab 1,6 Sonnenmassen. Dieser passt zur steigenden Häufigkeit der Doppelsterne ab 2

¹³⁹ Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Kurze Perioden finden sich bevorzugt bei den heißen Sternen, während lange Perioden vorwiegend bei den kühleren Sternen vorkommen.

S. 157

¹⁴⁰ Die Werte für die Häufigkeit der visuellen Doppelsterne sind der Grafik 42 entnommen. Es wurde nur die Masse der Sterne gegen die Spektralklasse getauscht.

Sonnenmassen. Vergleicht man die Perioden der Exoplaneten mit denen von Doppel- und Mehrfachsternsystemen so finden sich in diesem Massenbereich der Sterne nur zwei Periodenbereiche (Diagramm 1). In der kleineren Periode, diese liegen ungefähr bei 40 Tagen entwickelt sich eine Erde über den Gasplaneten bei höheren Sternmassen zum Stern. In der größeren Periode, - dort befindet man sich bei 400 bis 800 Tagen, - wird ein Jupiter, der Wahrscheinlichkeit nach noch eher zum Stern. Deswegen taucht er auch schon bei geringeren Sternmassen in größerer Zahl auf.

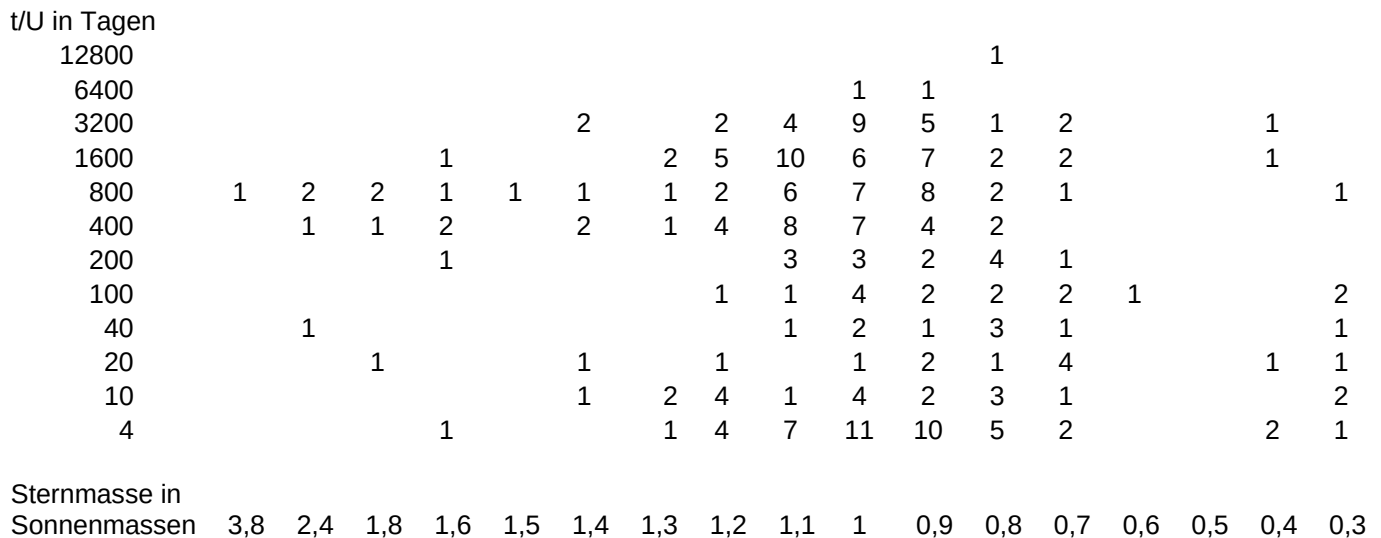


Diagramm 1: Perioden und Sternmassenverhältnis von Exoplaneten ¹⁴¹(In dieser Tabelle ist die Häufigkeit der Exoplaneten angegeben.)

Eine Auffälligkeit im Bereich der Sterne von 1,1 bis 2,4 Sonnenmassen liegt darin, dass sich bestimmte Sprünge zeigen. Die Perioden wachsen zu höheren Massen an und brechen dann wieder ein. bei den Mehrfachsystemen bis 1,2 Sonnenmassen gibt es zwei kleine und eine große Periode. Es bilden sich zwei Gasplaneten vom Typ der Erde und einer vom Jupiter. Bei 1,4 Sonnenmassen befindet sich bei den Mehrfachsystemen nur noch ein Gasplanet vom Typ der Erde in der kleinen Periode und einer vom Typ des Jupiters in den großen Perioden (Tabelle 9).

Hier kann man genauer sehen, dass sich die Massen in einem Gasplaneten wegen der steigenden Rotation auf weniger Körper verteilen. Damit existieren weniger Exoplaneten, weil die Massen auf weniger Monde werden. Die Sprünge liegen daran, dass die Strömung mit der steigenden Rotation steigt, und der Planet damit eine höhere Abdrift erfährt. Der Sprung zur kleineren Periode, hat den Grund in dem Einfang eines Mondpaares. Das führt zu einem Massengewinn des Planeten der besonders nach dem Einfang der Monde eine größere Menge kleinerer Körper einfängt. Die damit verbundene größere Masse des Planeten führt zu einer kleineren Abdrift.

Hinzu kommt noch, dass zwischen der kleinen und der großen Periode, also zwischen dem Jupitertyp und dem Erdtyp ehemals der Asteroidengürtel lag. Das sind Leerbereiche zwischen 20 und 200 Tagen, die im Instabilitätsstreifen erhalten bleiben, und die Ursache der Krise des Erststerns sind.

Die steigende Masse der Gasplaneten kann man sicher überprüfen, denn damit muss auch die Dichte größer werden. Da man mittlerweile die Dichte der Gasplaneten messen kann, wenn es Vorbeigänge am Stern sind, wären Untersuchungen in diesem Massenbereich von höherer Bedeutung.

¹⁴¹ Dieses Diagramm ist eine neuere Auswertung von 258 Exoplaneten vom November 2007.

2.12.14. Entstehungsort, Exoplaneten und Mehrfachsternsysteme

Das Diagramm 1 ist eine gute Darstellung, um einen Zusammenhang zwischen Doppelsternen und Exoplaneten herzustellen. Ein Perioden und Sternmassenverhältnis müsste auch für Doppelsterne erstellt werden. Das bezieht sich vor allem auf die Sterne des Instabilitätsstreifens. Damit kann man direkte Vergleiche zu den Exoplaneten ziehen, und den Übergang von den Exoplaneten zu den Doppelsternen nachweisen. Das Sternmassenverhältnis bezieht sich auf den Erststern, der bei den Mehrfachsternsystemen die größere Masse.

Wenn sich herausstellen sollte, dass die Exoplaneten im Perioden-Sternmassendiagramm (Diagramm 1), in Strukturen sitzen, aus deren Folge man erkennen kann, dass sie sich zu Sternen entwickeln, muss man davon ausgehen, dass alle Mehrfachsternsysteme Planetenkerne haben. Bei den Planeten versucht man zurzeit noch anzunehmen sie seien in der Ferne entstanden und zum Teil zum Stern gewandert. Wenn aber klar ist, dass alle Mehrfachsternsysteme im Zweit- und Dritt-Stern aus einem Planetenkern bestehen, müsste man auch von ihnen annehmen, sie wären in der Ferne entstanden. Das ist äußerst unwahrscheinlich. Demnach zwingt der Zusammenhang zwischen Planetenentstehung und Mehrfachsternentwicklung zwingt demnach dazu, alle Körper in der Nähe des Sterns entstanden sein müssen.

3. Die Sternentwicklung

3.1. Einzelsterne und Erststerne

3.1.1. Unterscheidung in zwei Arten von Sternen

Bisher gibt es keine Unterscheidung bei den Sternen. Man spricht allgemein über Sterne und auf der anderen Seite über Planeten. Aus den bisherigen Überlegungen zeigt sich, dass sich um einen Stern immer nur Planeten entstehen. Diese Entwicklung kann jedoch weiter laufen und der Planet entwickelt zum Stern. Bei Mehrfachsternsystemen ist der zweite und dritte Stern immer aus einem Stern entstanden. Damit hätte man zwei eigene Klassen von Sternen. Die einen haben einen Planetenkern und die anderen haben keinen. Daher trägt dieses Kapitel auch den Titel Einzelsterne und Erststerne. Der Erststern hätte den gleichen Aufbau, wie der Einzelstern. Damit beginnt das Thema der Sterne. Wenn im nächsten Kapitel von Doppelsternen gesprochen wird, geht es nicht um die beiden Sterne, sondern um den zweiten Stern im Doppelsternsystem, der diesen Planetenkern hat.

Es gibt viele Hinweise für diese beiden Klassen. Sie zeigen es an ihrem Verhalten. Das soll aber später erklärt werden. Eines sei aber schon gesagt. Am Ende ihres Lebens, wenn Sterne Weiße Zwerge werden, sieht man, dass es zwei Arten von Weißen Sternen gibt. Man nennt sie die DB- und die DA-Sterne. Weiteres zu dem Thema wird erst in späteren Texten erklärt.

3.1.2. Temperatureinteilung der Sterne

Um nun Sterne überhaupt verstehen zu können, muss man sie nach ihrer Temperatur und demnach auch Masse betrachten. Aus dem Exoplaneten ist schon zu erkennen, dass nur die genau Masseneinteilung der Sterne, die Exoplaneten aber auch den Stern verständlich machen. Sterne zeigen bestimmten Temperaturen ein ganz bestimmtes Verhalten.

Bei den M5-Sternen beginnen die unruhigen Konvektionszonen. Mit den F-Sternen verschwinden sie in tieferen Schichten, und die Rotation der Sterne nimmt zu. Mit dem Verschwinden der Konvektionszonen beginnt der Stern zu pulsieren. Man spricht daher von Instabilitätsstreifen. Ab den B3-Sternen endet der Instabilitätsstreifen. Der Stern hat oberhalb dieses Streifens wieder ein normales Verhalten.

Wenn man das betrachtet, kommt man schon zu dem Schluss, dass etwas Besonderes vorliegen muss, was den Stern ab einer bestimmten Grenze zu einem anderen Verhalten veranlasst. Bei den Exoplaneten hat man schon erkennen können, dass dort ein Zusammenhang zwischen Stern und Planet gibt, und das es nicht einfach die steigende Temperatur und Masse ist, die ihn zu einem solchen Verhalten veranlasst.

Zudem gibt es bei der weiteren Betrachtung im Bezug auf Doppelsterne und die Temperatur des Erst- oder Einzelsterns ganz wichtige Zusammenhänge die später besprochen werden. Daher ist es grundlegend in diesen Strukturen nach Temperatur und Masse zu betrachten und zu denken.

3.1.3. Prinzip der Sternentstehung

Aus den bisherigen Betrachtungen der Planetenentstehung kommt man zu dem Schluss, dass es nicht nur eine Verbindung zwischen der Entwicklung des Sterns und der Bildung seines Planetensystems gibt. Es existiert durch die Planetenentstehung ein starker Einfluss auf den Stern.

Dabei geht nicht nur darum, dass Körper in den Stern stürzen, sondern es geht darum, dass die Körper eine Rotation mit sich bringen, die Magnetfelder entwickeln und den Stern bremsen.

Die Bildung größerer Körper, die Entwicklung ihrer Rotation die daraus folgenden Magnetfelder und der Absturz solcher Körper sind Ursache der Bildung einer abgeplatteten Gasscheibe (circum-stellare Scheibe) auf der Rotationsebene eines Sterns. Diese bildet sich, weil der Stern eine gewisse Rotation erreicht. Ist die Geschwindigkeit zu langsam verhält sich das Gas turbulent, überschreitet es diese, entwickelt das Gas lineare Strukturen. Damit flacht sich die Gasscheibe in der Nähe des Sterns ab.

Diese Abplattung der Gasscheibe scheint für den Stern erst einmal nur ein Nachteil zu sein. Die Gasscheibe ist jedoch im gleichen Zuge auch ein Garant für die Zufuhr von Gasen, die sich auf der Oberfläche des Sterns absetzen. Diese ist nur möglich, weil sich die Gasscheibe auf diese Art und Weise verdichtet. Würde sie das nicht tun, dann hätte der Sonnenwind keine Probleme diese Gase sofort wieder abzublasen. Dass er es trotzdem tut, sieht man an Jungsternen, an T-Tauristernen oder an Herbig-Haro-Objekten. Diese geben über die Pole Gase ab, während sie Gase auf der Rotationsebene, also am Äquator, aufnehmen.

Diese Gasscheibe hat demnach zwei Funktionen. Sie ist einmal eine Hilfe, damit Sterne Gase aufnehmen können. Weil sie eine Gasdichte über die Rotation erzeugt, die stärker ist als der Sonnenwind, können Gase die Oberfläche erreichen. Damit wächst die Masse des Sterns. Da er nur eine bestimmte Rotation erreicht, kann er nur eine bestimmte Masse erreichen. Dann wird der Sonnenwind zu groß und die Gase werden abgeblasen. Auf der anderen Seite bremst sie mit der Körperbildung in Sternnähe die Entwicklung des Sterns. Eine ungestörte Entwicklung des Sterns ist nur möglich, wenn der Stern eine Temperatur erreicht, die den Entstehungsbereich vom Stern trennt.

Der zweite wichtige Gedanke, der sich aus der Planetenentstehung ergibt, liegt darin, dass sich ein Planet durch das Sammeln von Substanzen hoher Dichte so viel Masse entwickelt und sich nicht mehr über die Strömung vom Stern entfernt. Damit entwickelt er sich zum Exoplaneten oder Zweitstern. (Das wird in anderen Textpassagen erklärt.)

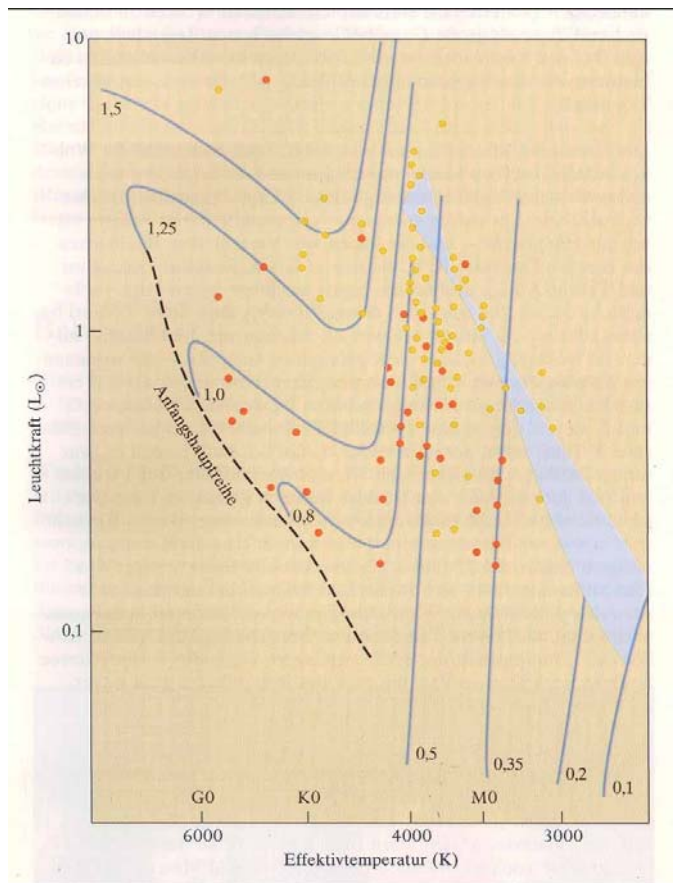
Die nahen Zweitsterne haben wiederum einen steuernden Einfluss auf den Erststern. Über die synchrone Rotation fördern sie die Entwicklung von kühlen Sternen, weil sie das System antreiben. Bei heißen Sternen ist es wiederum so, dass sie das gesamte System bremsen. Der Zusammenhang wird nur verständlich, wenn man sich über die Eigenschaften des Sonnenwindes und die Funktion der Gasscheibe im Klaren ist.

3.1.4. Sterntemperatur und der Entstehungsbereich von Körpern

Um das Bild der Entwicklung unserer Sonne etwas genauer darzustellen, sollte man die Phasen ihrer Entstehung anhand der Planetenentstehung in kurzen Zügen beschreiben. Diese Phasen können direkt auf Sterntemperaturen übertragen werden. Anhand der Verteilung der Exoplaneten hat man schon gesehen, dass sich die Gasplaneten nur in bestimmten Temperaturbereichen und auf bestimmte Perioden verteilen.

Die Planetenentstehung beginnt erst ab dem Kuiper-Gürtel, also ab 47 AE. Das entspricht der Phase unserer Sonne, als sie die Temperatur eines M5 Sterns erreicht hatte. Ab den M5 Sternen setzt mit einem Mal eine Verdichtung der Gasscheibe auf der Ekliptik des Sterns ein. Das Gas wird auf der Rotationsebene in Sternnähe linear. Dadurch kann es sich so verdichten und es bilden sich die ersten größeren Körper, weil sie die Gasscheibe durchdringen müssen. Das können sie nur durch eine größere Masse. Sie erfahren zudem eine Rotation. Diese Körper stürzen zum Teil in den Stern und führen zur Unruhe in seiner Oberfläche. Damit erklärt sich, warum Chromosphären und Konvektionszonen mit einem Mal entstehen (10.5.)¹⁴². Der Absturz ist damit zu erklären, dass Körper beim Durchdringen der Gasscheibe gebremst werden und sich dem Stern zu stark nähern.

Sterne mit einer höheren Temperatur als 3000 K sind dem ständigen Beschuss von rotierenden Körpern ausgesetzt. Sie haben einen großen Einfluss auf den Stern, weil sie den Stern über die Magnetfelder bremsen. Im gleichen Zuge der ansteigenden Temperatur entfernt sich der Entstehungsbereich vom Stern. Damit steigt der Anteil von Körpern, die nicht in den Stern fallen, sondern von ihm wegwandern.



Grafik 38: T-Tauristerne im HRD (14.5.)¹⁴³

Auf Grund dieser großen Mengen von Körpern, die in den Stern fallen, kommt es bei den kühlen Sternen zur T-Tauri-Phase. Der Stern verliert an Rotation. Zwischen Stern und Gasscheibe entsteht ein Rotationsunterschied, der dem zehnfachen Wert entspricht. Der zweite Effekt liegt darin, dass Massen dieser aufgeschmolzenen Körper in den Kern des Sterns sinken und die

¹⁴² James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Tätigkeit der Chromosphären und Koronen und damit auch der Magnetismus (Sonnenfleckentätigkeit) nehmen von den späten A-Sternen (kühle A-Sterne) bis hin zu den M5-Sternen zu, und brechen dann mit einem Mal ab.

S. 174

¹⁴³ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Die Leuchtkraft und Temperatur (HRD) der T-Tauristerne.

S. 274

Konvektionszonen mit den Sonnenflecken erzeugen. Damit der Fusionsprozess im Stern gemindert. Der Druck sinkt und der Stern verliert in dieser Phase schnell an Größe, weil ihn seine Masse zur Kontraktion zwingt (16.4.)¹⁴⁴. Die Verminderung der Rotation des Sterns wird durch die Magnetfelder rotierender Körper ausgelöst. Die Verminderung der Fusion wird durch Magnetismus der Sonnenflecken gemindert. Die Sonnenflecken sind selber zwar kühl, aber sie führen durch die Konvektionszonen große Mengen an Energie aus dem Zentrum ab. So stören sie die Fusion von Wasserstoff zu Helium.

Diese Störung beginnt in unserem Sonnensystem nach der Entstehung von Jupiter und seinen Monden. In dieser Zeit wird die Sonne kleiner. Der Entstehungsbereich kühlt aus und bleibt im Asteroidengürtel als Rest eines Entstehungsbereiches erhalten. In der Phase hat die Sonne ca. 4000 K und etwa 0,8 Sonnenmassen (siehe Grafik 38).

Erreicht ein Stern eine noch höhere Temperatur, so beginnt sich der Entstehungsbereich der Planeten vom Stern zu trennen. Bei unserer Sonne hat sich in dieser Phase das innere Planetensystem gebildet.

Mit einer Temperatur von gut 6000 K, die unsere Sonne nicht erreicht hat, endet der Einfluss des Entstehungsbereiches von Körpern auf einen Stern. Oberhalb der G-Sterne nimmt die Rotation der Sterne stark zu (5.8.)¹⁴⁵. Im gleichen Zuge sinken die Konvektionszonen in das Innere des Sterns (14.16.)¹⁴⁶. Die Konvektionszonen sind daher ein klares Zeichen der Berührung vom Entstehungsbereich der Körper mit dem Stern. Demnach beginnt die Beeinflussung des Sterns ab 3000 K. Von da an werden größere Körper gebildet, die in den Stern stürzen. Ab 6000 K ist dieser Absturz von Körpern beendet. Alles was kondensiert, wird zu Planeten.

Ab den F-Sternen hat man es zu höheren Temperaturen hin generell mit hohen Sternrotationen zu tun. Diese Rotationen sind nur möglich, weil der Stern sich vom Entstehungsbereich getrennt hat.

Die Konvektionszonen spielen bis zu den A-Sternen eine Rolle. Sie wirken aus tieferen Schichten und führen dazu, dass Sterne in diesem Temperaturbereich pulsieren. Daher findet sich bei den A-Sternen der Instabilitätsstreifen. Diese Sterne hatten in ihrer früheren Zeit einen längeren Kontakt mit dem Entstehungsbereich, und darauf hin sind auch bei ihnen Konvektionszonen entstanden, die aber in der letzten Phase ihrer Entwicklung zugedeckt worden sind. Diese wirken jedoch aus der Tiefe weiter und führen dazu, dass diese Sterne pulsieren.

Sterne die noch heißer werden, bewegen sich so schnell durch ihre kühle Phase hindurch, dass die Planetenentstehung keinen Einfluss mehr auf sie hat.

Mit dieser kurzen Betrachtung hat man ein recht plausibles Bild, warum sich Sterne in bestimmten Temperaturbereich so oder so verhalten. Die Planetenentstehung als Kondensationsbereich, also als einem Bereich, der sich über die Temperatur des Sterns verschiebt, lässt sich gut in das Bild der Sterne unterschiedlicher Temperatur einfügen.

¹⁴⁴ F. G. Surdin, S. A. Lamzin: „Protosterne“ Johann Ambrosius Barth Verlag Heidelberg

T-Tauristerne sind beträchtlich größer als 2 aber kleiner als 50 Sonnenradien.

S. 147

¹⁴⁵ Rotation und Temperatur von 3 Jungsternhaufen verschiedenen Alters im HRD.

Sterne und Weltraum, 7-1998 - S. 626

¹⁴⁶ James B. Kaler: „Sterne“, 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Ab der Temperatur, wo die Konvektionszonen tiefer in den Stern verschwinden, steigt die Rotation der Sterne an. Es gibt daher einen Zusammenhang zwischen Konvektionszonen und niedriger Rotation. S. 165,

3.1.5. Die Wirkung der Konvektionszonen

Da die Konvektionszonen von so großer Bedeutung sind, sei noch kurz etwas zu ihnen gesagt.

Die Konvektionszonen entstehen plötzlich ab den M5-Sternen. Über die Sonnenflecken oder Sternflecken wird die Energie nach außen getragen. Die oberen Schichten unterhalb der Konvektionszonen werden somit kühler.

Der Fusionsprozess im Kern treibt die Wärme nach draußen, was sehr langsam durch die Schichten von statten geht, und der Stern wirkt mit seiner großen Masse als Isolationschicht, die die Hitze im Kern hält.

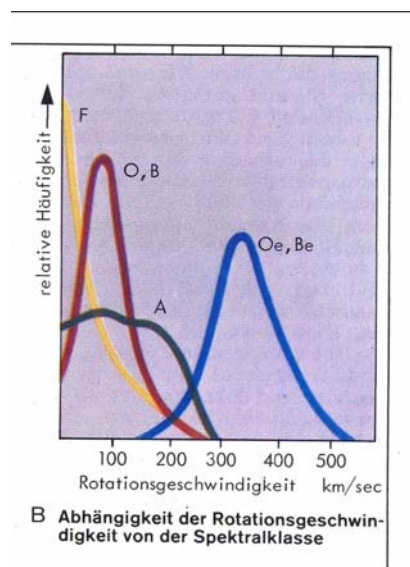
Wenn die Hitze langsam hinaus kann, wirkt eine Abkühlung auch nur langsam nach innen. Mit dem Entstehen der Konvektionszonen wird die Fusion erst einmal nicht beeinflusst, weil sie nicht tief genug in den Stern reichen. Diese Wirkung tritt erst zu einem späteren Zeitpunkt ein.

Da die Konvektionszonen durchgehend, dauert es eine Zeit bis die tieferen Schichten erreicht werden. Erst dann folgt die Minderung der Fusion und der Stern verkleinert sich. Alle Sterne bis zum oberen Ende des Instabilitätsstreifens erleben daher einen Größeneinbruch.

Weil die Planetenentstehung mit der Sternentwicklung gekoppelt ist, wirkt sich dieser Einbruch immer auf die Planetenentstehung aus. Er führt immer zum Zusammenbruch des Entstehungsbereiches.

Kurz zusammengefasst bedeutet das: Die Konvektionszonen werden durch die Planetenentstehung ausgelöst. Diese wirkt über die Zeit in die Tiefe. Das beeinträchtigt die Fusion. Der Stern verkleinert sich, und das führt zur plötzlichen Verlagerung des Entstehungsbereiches. Mit der Fusionsverminderung im Stern geht die Wirkung demnach wieder nach außen.

Da Planeten hintereinander entstehen, ist diese Wirkung immer zu sehen. In unserem Sonnensystem ist der Rest eines Entstehungsbereiches zwischen Jupiter und Mars. Das ist der Asteroidengürtel. Egal, wo man nun Sterne mit Konvektionszonen betrachtet, sie haben immer einen Hinweis in der Struktur des Planetensystems oder eines Mehrfachsternsystems im Instabilitätsstreifen.



Grafik 39 : Rotation ab den F-Sternen (12.8.)¹⁴⁷

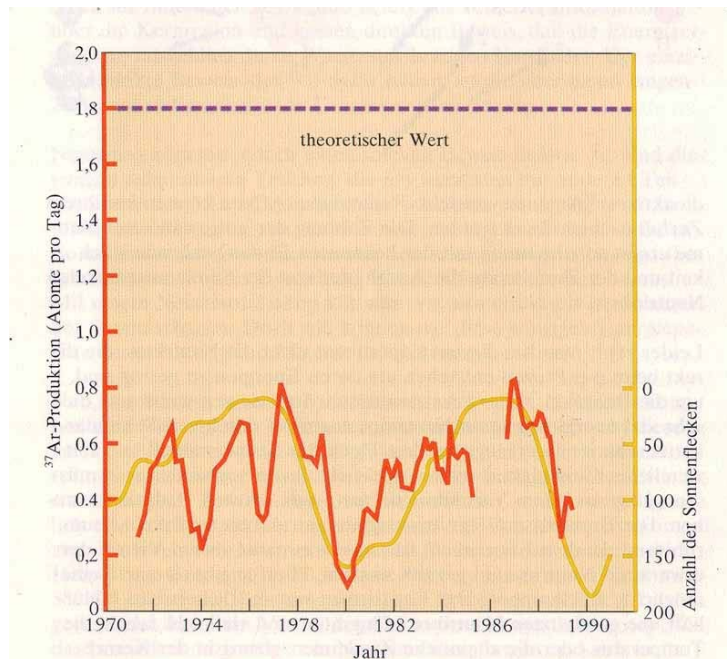
¹⁴⁷ Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

3.1.6. Spektralklassen und Sternrotation

Die Bedeutung der unterschiedlichen Rotationen von den F-Sternen bis zu den O-Sternen ist wie folgt zu erklären (siehe Grafik 39). Bei den F-Sternen beginnt die Rotation anzusteigen, weil sich der Entstehungsbereich für Planeten und ihre Systeme vom Stern trennt. A-Sterne und F-Sterne haben beide die Rotationsgrenze von ungefähr 300 km/s gemeinsam, weil in ihrer früheren Phase der Entstehungsbereich der Planeten dafür gesorgt hat, dass sie in ihrer Rotation gebremst wurden.

Doppelsterne haben bei diesen Sternen alle eine geringere Rotation, weil der Zweitstern den Erststern bremst. Dadurch gibt es, schwach erkennbar, bei den A-Sternen zwei Maxima. Diese sind aber nicht so klar getrennt, wie bei den O- und B-Sternen. Bei den O- und B-Sternen ist es so, dass ihre Berührungsphase mit dem Entstehungsbereich für Planeten nur äußerst kurz war. Damit ist der Erststern fast gänzlich ungebremst. Dieser kann damit eine wesentlich höhere Rotation erreichen als die aufgeführten kühleren Sterne. Hier handelt es sich um die Oe- und die Be-Sterne. Die O- und B-Sterne mit geringer Rotation sind Doppelsterne. Hier wird wieder der Erststern durch den Zweitstern gebremst

Es ist verblüffend, dass die Rotation der Doppelsterne unabhängig von der Temperatur und Masse eines Sterns in der Häufigkeit bei 100 km/s liegt. Das dürfte etwas mit dem steigen Masse des Planetenkerns zu tun haben. Er bietet eine größere Trägheit im Kern und damit lässt sich der Erststern, dessen Masse ebenfalls mit der Temperatur steigt, immer auf eine ähnliche Rotation eichen.



Grafik 4 : Neutrinohäufigkeit und Sonnenfleckentätigkeit (14.1.)¹⁴⁸.

¹⁴⁸ James B. Kaler: „Sterne“, 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

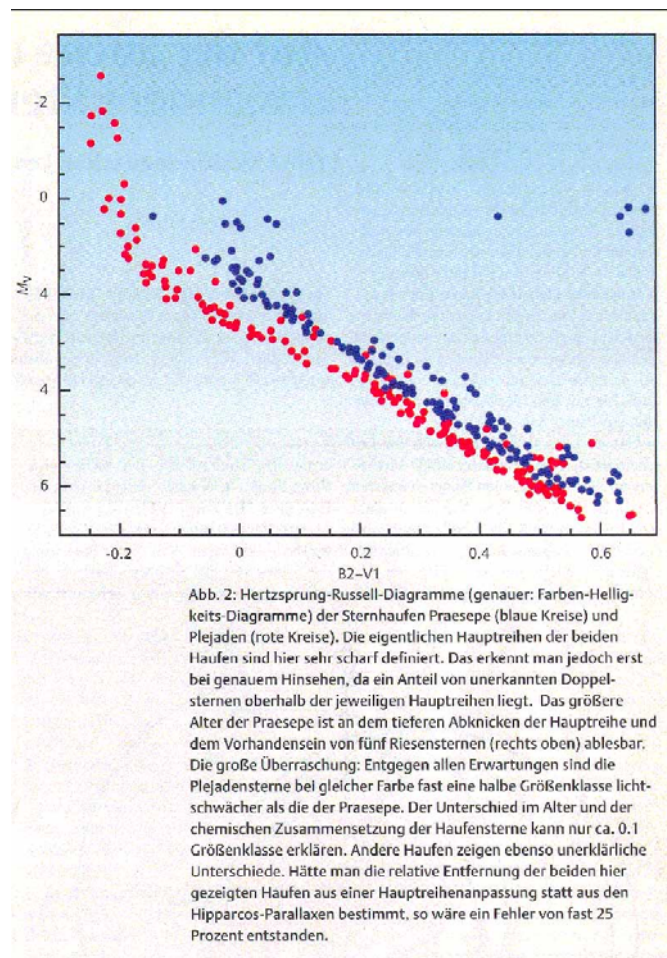
Die ältesten Neutrinomessungen über 20 Jahre in Süddakota mit Perchlorethylen haben nur ein Viertel der berechneten Neutrinos nachgewiesen. Das verblüffende des Experiments ist die umgekehrte Proportionalität gegenüber den Sonnenflecken.

Neutrinomessungen haben bei der Wahl des Elementes Gallium etwa die Hälfte der erwarteten Neutrinos gefunden.

3.1.7. Leuchtkraftverminderung der Jungsterne

Die Leuchtkraftverminderung der Jungsterne auf der Hauptreihe erklärt sich aus dem besonders starken Magnetismus in der frühen Phase des Sterns (siehe Grafik 40). Über die starken Sonnenflecken wird besonders viel Energie abgeführt.

Den Hinweis der diesen Gedanken unterstützt bietet die Neutrinostrahlung in der Sonne. Diese Neutrinos sind ein Abfallprodukt der Fusion und ergeben ein genaues Maß für ihre Stärke. Bis vor einigen Jahren hat man nur ein Drittel der Neutrinos gefunden und die Langzeituntersuchungen haben ergeben, dass sich die Neutrinohäufigkeit umgekehrt proportional zu den wiederkehrenden Sonnenflecken verhält (siehe Grafik 4). Da die Sonnenflecken rhythmisch auftreten, zeigen auch die Neutrinos Rhythmen in ihrer Häufigkeit. Hier muss ein Zusammenhang zwischen den äußeren Regionen eines Sterns und seinen tiefen Zonen bestehen.



Grafik 40 : Jungsterne auf der Hauptreihe (5.9.)¹⁴⁹

Bei den Neutrinos hat man mittlerweile festgestellt, dass sie sich umwandeln. Man muss den Prozentsatz der fehlenden Neutrinos heruntersetzen. Trotzdem kann man ihn nicht gleich Null setzen, und es bleibt immer noch die umgekehrte Proportionalität zu den Sonnenflecken.

¹⁴⁹ Die geringere Leuchtkraft der jungen Plejaden gegenüber dem Sternhaufen der Praesepe, könnte als Ursache das Absinken schwerer Elemente haben. Dieses Phänomen findet man bei jungen Sternhaufen öfter.

Ein weiterer Hinweis liegt bei kühlen M-Sternen. Hier wird öfter festgestellt, dass deren Leuchtkraft viel zu gering ist (5.6.)¹⁵⁰ (5.67.)¹⁵¹.

3.1.8. Sichtbare Einflüsse der Planeten auf die Stern

Wenn man sich fragt, wo der Einfluss vom Planeten auf den Stern zu erkennen ist, so muss man nur bestimmte Grafiken im Zusammenhang betrachten. Dabei sollte man die Frage vor Augen haben, wie verliert der Stern seine Rotation? Diese Rotation ist, wie schon erklärt die Basis für die weitere Entwicklung des Sterns und regelt seine Gasaufnahme.

Aus der Grafik 4 sieht man, dass im Maximum der Sonnenflecken die geringste Fusion stattfindet. Die Sonnenflecken führen zudem bei der Sonne zur verminderten Rotation. Beim Maximum hat sie 7200km/h und beim Minimum 7600km/h (13.4.)¹⁵². Die Rotation bei α Persei und bei den Plejaden, also bei den jüngsten Sternhaufen, bricht im Bereich von 5000 bis 6000 Kelvin als erstes ein und breitet sich dann zu den kühlen Sternen hin aus (Grafik 3). Unter den Exoplaneten ist ihre Häufigkeit im Bereich von 0,7 bis 1,2 Sonnenmassen am höchsten. Deren Sterntemperaturen liegen von 4300 bis 6300 Kelvin. Der Rotationsverlust tritt als erstes ein, wo man die meisten Exoplaneten findet und setzt sich dann zu den kühlen Sternen fort.

Exoplaneten in Sternnähe sorgen zudem für höhere Metallizität und befinden sich genau in dem Spektrum von Sternen, wo der Rotationsverlust als erstes auftaucht. Der Einfluss erklärt sich über die Periheldrehung, die der Exoplanet auslöst. Das spricht auch dafür, dass der Entstehungsbereich zwischen dem Exoplaneten und dem Stern liegt.

3.1.9. Metallizität und Sternentwicklung

Wenn man den Verlauf der Sternentwicklung bei unterschiedlicher Metallizität betrachtet, kommt man dazu zu sagen, dass die Menge der schweren Elemente die in einen Stern stürzen geringer werden. Dadurch werden die Sterne bei geringerer Metallizität weniger gebremst.

Der zweite Faktor, der die Entwicklung zum heißen Stern beeinflusst, ist der Zweitstern. Bei geringerer Metallizität ist der Abstand größer, und heiße Sterne werden durch den Zweitstern ebenfalls weniger gebremst. Zudem werden die Doppelsterne weniger. Damit werden Sterne generell mit abnehmender Metallizität heißer und sie werden zahlreicher (10.19.)¹⁵³.

¹⁵⁰ Drei M7-Sterne mit zu geringer Leuchtkraft in 140 Lichtjahren Entfernung.

Sterne und Weltraum, 8 & 9-1998 - S. 717

¹⁵¹ In der Entfernung von 7,8 Lichtjahren ist ein M6.5 Stern gefunden worden, der um das Dreifache seiner Leuchtkraft zu schwach ist. Er hat ungefähr das 300000stel der Leuchtkraft unserer Sonne.

Sterne und Weltraum, 11-2003 /- S. 12

¹⁵² Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Die Rotation der Sonne und ihre Sonnenflecken. S. 62

¹⁵³ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die hellsten Überriesen in der Magellanschen Wolke sind deutlich heller als in unserer Galaxis.

S. 101

Wegen der geringeren Menge schwerer Elemente zeigen die heißesten Sterne auch ein anderes Verhalten. Dies ist recht gut in der Magellanschen Wolke zu sehen, wo die Sterne heißer sind als in unserer Milchstraße.

Dieses Verhalten ist in den alten Sterngenerationen ebenfalls vorzufinden. Kühlere Sterne geringerer Masse zeigen das Verhaltensmuster von Sternen höherer Temperatur und Masse. So könnte man auch in diesen alten Sterngenerationen davon ausgehen, dass die Kerne schwerer Elemente kleiner sind, weil weniger schwere Elemente existieren. Damit würden die Kerne kühlerer Sterne aus alten Populationen den Kernen von Sternen höherer Temperatur aus der jüngeren Population ähnlich sein. Das Verhalten eines Sterns scheint daher stark davon abhängig zu sein, wie die Kernzusammensetzung eines Sterns aussieht.

3.1.10. Sternmagnetismus und das Alter von Sternen

Das Altern der Sterne ist nicht nur von der Masse abhängig, sondern auch vom erzeugten Magnetismus abgestürzter Körper in den Stern. Der kühle Stern bleibt viel länger auf der Hauptreihe, weil er diesen Magnetismus hat. Da der Magnetismus besonders massiv bei den G-Sternen anfängt haben wir dort eine Grenze, wo die Fusion besonders gemindert stattfindet.

Mit zunehmendem Alter eines Sternhaufens müssten immer mehr kühlere Sterne die Hauptreihe verlassen. Dieser Verlauf ist nicht festzustellen. Selbst bei den alten Kugelsternhaufen geringster Metallizität stoppt die Abwanderung der Sterne von der Hauptreihe bei den G-Sternen. Dieser sonderbare Kurvenverlauf aller sichtbaren Sterngenerationen unterstützt den Einfluss des Magnetismus auf den Stern.

Bezieht man die Altersbestimmung auf die Kugelsternhaufen, so sind sie nach J. B. Kaler älter als das Universum. Die Kugelsternhaufen werden auf 14 bis 16 Milliarden Jahre geschätzt (14.6.)¹⁵⁴, während das Universum 13,7 Milliarden Jahre alt ist (5.43.)¹⁵⁵. Demnach könnte man als Antwort geben, dass ältere Sternhaufen einen geringeren Anteil schwerer Elemente im Kern haben, und daher die Menge abstürzender Körper in einem Stern geringer ist. Diese alten Sterngenerationen altern daher insgesamt viel schneller.

¹⁵⁴ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Das Problem des Alters der Kugelsternhaufen: Alters des Universums wird auf 13 Milliarden Jahre (alter Wert) geschätzt, und das Alter der Kugelsternhaufen auf 14 bis 16 Milliarden Jahre.

S. 255

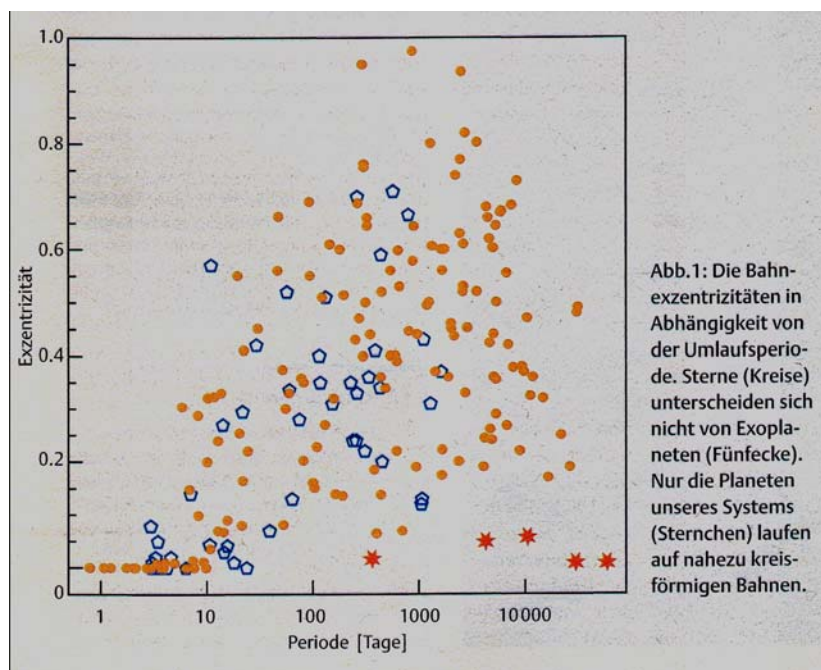
¹⁵⁵ Die Hubble-Konstante wird mit dem Satelliten W MAP auf 71 Kilometer pro Sekunde pro Megaparsec bestimmt. Mit einer Unsicherheit von einem Prozent ist das Universum damit 13,7 Milliarden Jahre alt.

Sterne und Weltraum 4-2003 - S. 20

3.2. Doppelsterne

3.2.1. Der Übergang vom Planeten zum Stern

Die Doppelsterne sind aus den bisherigen Überlegungen eine Weiterentwicklung vom Planeten zum Stern. Es handelt sich damit gegenüber dem Erststern um eine ganz andere Kategorie von Sternen. Sie haben den Planetenkern, sei er aus Eisen, Gestein oder beidem, und darüber liegen eine Schicht Wasser und ein Gasmantel. Daher muss man zwischen Erststern und Zweitstern unterscheiden. Was diesen Gedanken stützt, ist die Tatsache, dass Doppelsterne sehr unterschiedlich sind. Sie sind im Bezug auf Einzelsterne auf der Hauptreihe im HRD leuchtkräftiger (5.9.)¹⁵⁶. Dazu kann man beobachten, dass Exoplaneten einen ähnlichen Abstand wie Doppelsterne haben (siehe Grafik 41).



Grafik 41: Bahnparameter von Exoplaneten und Doppelsterne (5.1.)¹⁵⁷

Die kritische Masse, die ein Planet braucht, um in Sternnähe zu bleiben, erreicht er über die Inklination. Die Größe und die Dauer der Inklination bestimmen die Masse des Planeten und die

¹⁵⁶ Doppelsterne liegen nach Untersuchungen der Hipparcos- Sonde allgemein, ob nun jung oder älter, oberhalb der Hauptreihe.

Sterne und Weltraum, 11-1997 - S. 941

¹⁵⁷ Diagram über 50 Exoplaneten, die meist eine hohe Exzentrizität aufweisen und dem Stern sehr nahe stehen. Sie bewegen sich in ähnlichen Abständen, wie bei Doppelsternen (Auch in dieser Grafik ist der Nullpunkt der Exzentrizität falsch gesetzt, zudem fehlt Merkur, der eine gewisse Exzentrizität hat.).

Sterne und Weltraum, 2-2001 - S. 115, Thomas Bührke

Rotation der Gasscheibe. Eine große Inklination verbietet die Gasaufnahme des Planeten, weil in diesem großen Abstand von der Ekliptik der Sonnenwind herrscht. Er sammelt somit nur Massen hoher Dichte und damit geht seine Abdrift gegen Null und seine Inklination verkleinert sich. Damit beginnt er Gase aufzunehmen. Wegen der sinkenden Abdrift sammeln sich Gasplaneten bei einer Periode von 4 Tagen (siehe Grafik 7).

Gasplaneten werden nicht größer als Jupiter (5.33.)¹⁵⁸. Damit nimmt die Dichte wohl kurzfristig ab und die Abdrift wieder zu, aber dann geht sie wieder gegen Null bis die Fusion zum Stern beginnt.

In dieser Kategorie befinden sich die Exoplaneten, die sich über den Braunen Zwerg zum Stern entwickeln. Entwickeln sich nun Braune Zwerge zu Sternen würden sie sich wegen der Fusion ausdehnen und sich noch einmal ein Stück vom Erststern entfernen. Aus dieser Logik müssen Exoplaneten oder Braune Zwerge einen geringeren Abstand zum Erststern haben als Doppelsterne. Das Maximum der Häufigkeit der Exoplaneten liegt tatsächlich etwas näher zum Erststern als bei Doppelsternen. (5.1.)¹⁵⁹ (siehe Grafik 41)

Man muss nun aber zwei Arten von Doppelsternen unterscheiden. Bei den kühlen Sternen bildet sich der zweite Stern aus einem Neptun, also einem Körper, der einen Gesteinsplaneten im Kern hat. Dieser gewinnt seine Masse indem er seine Abdrift beibehält und äußere Kleinsysteme einfängt. Die äußeren Kleinmondsysteme entwickeln sich umfangreicher, bei kühlen Sternen, weil die Entwicklung des Neptuns später einsetzt. Diese Massen hoher Dichte sammelt ein Neptun ein. Er kann zum Stern werden. Daher sind bei Sternen unter einer Sonnenmasse äußere Exoplaneten generell größter Masse.

Die Entstehung eines Neptuns als Gasplanet ist wiederum nur möglich, weil Körper der M-Klasse, die Entwicklung der E-Klasse, abschneiden. In unserem Sonnensystem hat ein Körper, wie Titan dies ausgelöst. Damit erreicht Neptun eine hohe Masse und wird zum Gasplaneten. Die Jupiterklasse in denen Körper mit Eisenkern existieren, löst die Entwicklung eines Neptuns als Gasplaneten aus. Nur wenn sie ausgelöst wird, kann sich ein solcher Gasplanet zum Stern entwickeln. Die Entwicklung der Körper der Jupiterklasse beginnt etwas unterhalb von Sternen mit 0,7 Sonnenmassen. Im gleichen Zuge setzt auch die Entwicklung der Doppelsterne ein, weil diese Wechselwirkung dieser Körperklassen existiert (siehe Grafik 26 und Grafik 37).

Wenn der Zweitstern aus einem Planeten entstanden ist, müsste er auch ähnliche magnetischen Eigenschaften vorweisen. Diese Eigenschaften wären zum Beispiel der Unterschied zwischen Rotationsachse und Magnetachse. Sie sind bei beiden Klassen von Körpern zu finden. Das spricht auch für ihre Verwandtschaft und unterstützt den Gedanken, dass aus dem Planeten der Zweitstern wird. Das bedeutet aber auch, dass magnetische Sterne nur in Doppelsternsystemen zu finden wären und dass nur einer von beiden ein Magnetstern sein kann.

3.2.2. Arten der Doppelsterne

Bei den kühlen Doppelsternen hätte der Zweitstern einen Planetenkern aus Gestein. Das ist der Neptuntyp. Doppelsterne der Temperatur unserer Sonne hätten im Zweitstern einen Planeten aus

¹⁵⁸ Ab der Größe Jupiters werden Gasriesen nicht mehr größer. Bis hin zum Maximum der Masse eines Braunen Zwerges nimmt sie sogar noch etwas ab.

Sterne und Weltraum, 3-2003 - S. 16, Tilmann Althaus

¹⁵⁹ Diagramm über 50 Exoplaneten, die meist eine hohe Exzentrizität aufweisen und dem Stern sehr nahe stehen. Sie bewegen sich in ähnlichen Abständen, wie bei Doppelsternen.

Sterne und Weltraum, 2-2001 - S. 115, Thomas Bührke

Eisenkern und Gesteinsmantel. Bei den heißen Doppelsternen sind die Eisenkerne und Gesteinsmäntel im Zweitstern größer, weil sich der Entstehungsbereich vom Erststern getrennt hat.

Bei den heißen Doppelsternen hat der Zweitstern den Eisenkern und damit in der frühen Phase seiner Entwicklung eine höhere Dichte. Zudem ist der Entstehungsbereich vom Erststern getrennt und er sammelt daher schneller Masse hoher Dichte. Sie haben damit eine geringere Abdrift und einen geringeren Abstand zueinander als kühle Doppelsterne.

Bis zu den B3-Sternen erleben Sterne noch Krisen während ihrer Entwicklung (siehe Grafik 43). Das führt zu Konvektionszonen, die im weiteren Entwicklungsverlauf in tieferen Schichten verschwinden. Nur dort, wo sich Konvektionszonen um einen Stern gebildet haben, erlebt der Stern eine Verkleinerung. Die Konvektionszonen in tieferen Schichten sind gleichzeitig der Grund für die Pulsation der Sterne. Die Krise des Sterns führt dazu, dass sich zwei Körper mit Eisenkern bilden, die beide zum Stern werden können. Im Sonnensystem haben wir einen Jupiter und im inneren die Erde, die ebenfalls zum Gasplanet und weiter zum Stern werden kann. Daher spreche ich im Instabilitätsstreifen vom gestörten Jupitertyp und dem Erdtyp, der sich weiter zum Stern entwickeln kann. Weil der Jupitertyp durch die Krise in der Entwicklung gestört wird und aus der Position der Bildung des Gasplaneten springt, kann sich der Erdtyp entwickeln. Daher existieren von den F- bis zu den B3-Sternen zwei Typen mit Eisenkern. Das heißt, man hat es in diesem Temperaturbereich meistens mit Dreifachsystemen zu tun. Der Erdtyp aber auch der späte Jupitertyp sind die Vertreter der CP-Sterne. Der Erdtyp ist zudem der Vertreter der Zwergnova. Alle Zweitsterne sind schwach pulsierend, weil der Planetenkern den Puls schwächt.

Oberhalb der B3-Sterne haben wir es mit einer eigenen Klasse von Sternen. Der Erststern hat eine unbedeutende Krise und in seiner frühen Entwicklung. Er kennt keine Konvektionszonen im inneren und hat daher auch keine Pulsation. Damit entwickelt sich der Jupitertyp ungestört. Er bleibt in seiner Position und der Erdtyp kann sich nicht mehr entwickeln. Es gibt demnach oberhalb der B3-Sterne nur noch Doppelsterne, und den Zweitstern bezeichne ich mit dem ungestörten Jupiter. Der Jupitertyp ist als Zweitstern auch viel massenreicher. Hier beginnt die Region der Supernova und der Pulsare. Nur der ungestörte Jupitertyp kann Pulsare hervorbringen.

Damit sind die Klassen der Mehrfachsternsysteme erklärt. Zusammenfassend kann man sagen, man muss grundlegend zwischen dem Erststern und den Zweitsternen unterscheiden. Unter den Zweitsternen existieren der Neptuntyp, der gestörte Jupitertyp, der Erdtyp und der ungestörte Jupitertyp. Damit erfasst man die gesamte Klassifizierung der Mehrfachsternsysteme. Da Nebenperioden bei heißen Mehrfachsternsystemen existieren, sind diese ein Zeichen dafür, dass sich Körper wie Saturn oder Uranus ebenfalls zu größeren Körpern weiterentwickeln können.

Bei geringerer Metallizität nehmen die Häufigkeit der Doppelsterne und ihr Abstand zueinander zu. Eine Mindestgröße von Körpern ist in der anfänglichen Entwicklung beim Durchdringen der Gasscheibe vorgegeben. Es entstehen weniger Körper und diese brauchen länger, um die kritische Masse zu erreichen. Daher wandern sie weiter weg.

Der wachsende Abstand der Doppelsterne bei abnehmender Metallizität führt einmal bei den CP-Sternen dazu, dass weniger Planeten und Monde in die Sterne abstürzen. Körper, die in Sternnähe entstehen und wegwandern haben mehr Raum. Damit nimmt ihre Häufigkeit stark ab (5.11.)¹⁶⁰. Zum anderen führt dies dazu, dass der Zweitstern an Einfluss verliert. Bei geringerer Metallizität entstehen mehr heiße Einzelsterne.

¹⁶⁰ Die Häufigkeit der CP-Sterne in der Magellanschen Wolke ist deutlich niedriger als in unserer Galaxie. Im Sternhaufen NGC 1866 beträgt sie nur 1,5 % gegenüber 5 % unserer Galaxie, und eine noch geringere Präsenz findet sich in seiner Umgebung (dort nur 0,3 %).

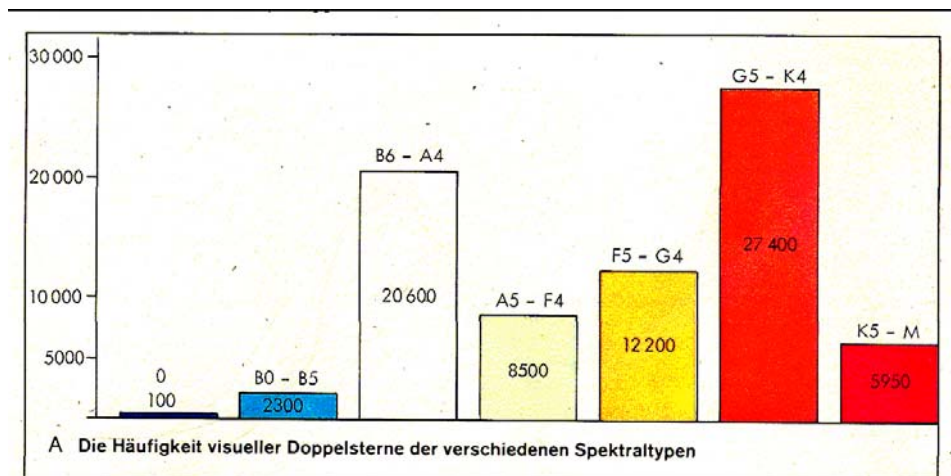
3.2.3. Abstände der Doppelsterne

Bei den kühlen Sternen ist der Abstand der engen Doppelsterne größer als bei den heißen Sternen (12.4.)¹⁶¹. Das liegt daran, dass es sich einmal um die Jupiterklasse von Gasplaneten handelt, die ihre Masse dadurch gewinnen, weil sie mit ihrem Eisenkern in der Nähe des Sterns bleiben, während sich bei kühlen Sternen die Neptunklasse dadurch zum Stern entwickelt, dass sie vom Stern wegwandert und Kleinplanetensysteme einsammelt. Auf diese Weise kommt sie zu der kritischen Dichte und wird zum Stern.

Bei den heißen Doppelsternen hat der Zweitstern den Eisenkern und damit in der frühen Phase seiner Entwicklung eine höhere Dichte. Zudem ist der Entstehungsbereich vom Erststern getrennt und er sammelt daher schneller Masse hoher Dichte. Sie haben damit eine geringere Abdrift und einen geringeren Abstand zueinander als kühle Doppelsterne.

Bei geringerer Metallizität nehmen die Häufigkeit der Doppelsterne und ihr Abstand zueinander zu. Eine Mindestgröße von Körpern ist in der anfänglichen Entwicklung beim Durchdringen der Gasscheibe vorgegeben. Es entstehen weniger Körper und diese brauchen länger, um die kritische Masse zu erreichen. Daher wandern sie weiter weg.

Der wachsende Abstand der Doppelsterne bei abnehmender Metallizität führt einmal bei den CP-Sternen dazu, dass weniger Planeten und Monde in die Sterne abstürzen. Körper, die in Sternnähe entstehen und wegwandern haben mehr Raum. Damit nimmt ihre Häufigkeit stark ab (5.11.). Zum anderen führt dies dazu, dass der Zweitstern an Einfluss verliert. Bei geringerer Metallizität entstehen mehr heiße Einzelsterne.



Grafik 42: Häufigkeit von visuellen Doppelsternen (12.3.)¹⁶²

Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Von 594 spektroskopischen Doppelsternen haben nur 61 eine Periode über zwei Jahre. Die meisten Werte liegen nur bei ein paar Tagen. In 42 Fällen liegt die Umlaufzeit unter einem Tag. Kurze Perioden finden sich bevorzugt bei den heißen Sternen, während lange Perioden vorwiegend bei den kühleren Sternen vorkommen. S. 157

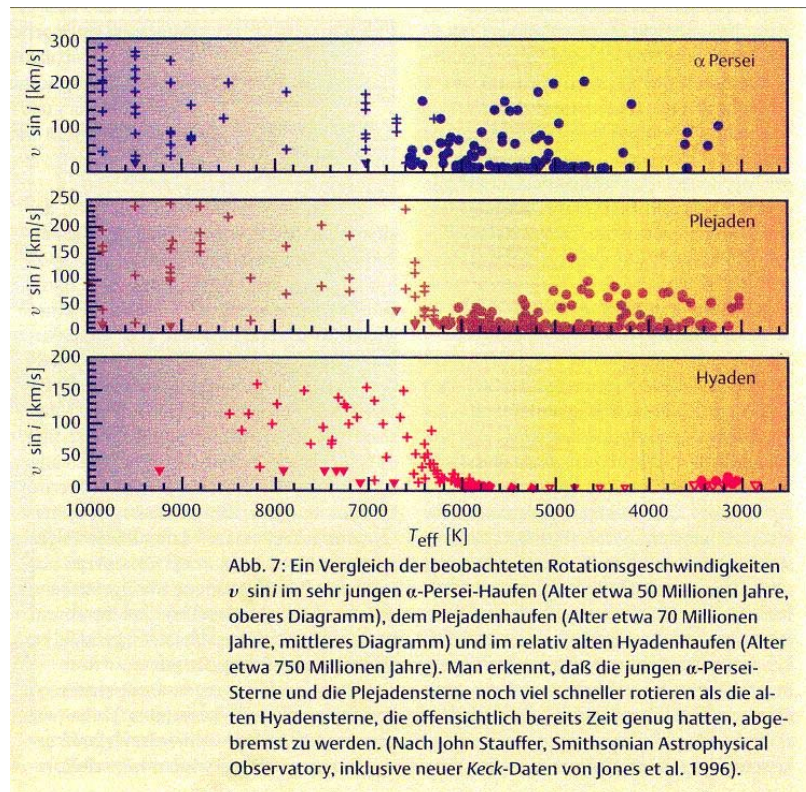
¹⁶² Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Die Häufigkeit ist die Summe aus scheinbaren und wirklichen Doppelsternen. Die scheinbaren Doppelsterne sind über die gesamte Häufigkeitskurve gleichmäßig verteilt. Die wirklichen Doppelsterne entsprechen demnach schon dieser Kurve. Sie haben nur einen abgeschwächten Kurvenverlauf. Bei den heißen Sternen dürfte die Häufigkeit der Doppelsterne höher sein. S. 158

3.2.4. Häufigkeit und Temperatur der Doppelsterne

Die Doppelsterne haben über die Temperatur aller Sterne verteilt zwei Maxima (siehe Grafik 42). Das Minimum zwischen beiden Maxima kommt durch die T-Tauriphase der Sterne. (Bei etwas heißeren Sternen spricht man von R-Assoziationen. Sie sind massenreicher, zeigen aber das Verhalten von T-Tauristernen.) Diese führt dazu, dass der Planet zu früh Gase aufnimmt, an Dichte verliert und wegtreibt. Das mindert die Wahrscheinlichkeit für einen Planeten, zum Stern zu werden.

Die Häufigkeit von den G4-Sternen bis zu den A5-Sternen nimmt noch einmal ab, weil über die R-Assoziationen auch heißere Sterne einen Rotations- und Größeneinbruch erfahren, der zur früheren Gasaufnahme der Planeten führt. Damit wandert er aus der Position des Gasplaneten heraus und verhindert seine Weiterentwicklung zum Stern.



Grafik 3: Rotation von Jungsternen (5.8.)¹⁶³

Die Abnahme der Häufigkeit zu den kühlen Sternen hin liegt daran, dass die kühlen Sterne unter 3100 K keine Planeten mehr produzieren. Die Abplattung der Gasscheibe findet nicht statt. Damit gibt es weder Planeten noch Doppelsterne. An der Rotation der Jungsternhaufen sieht man, dass es unter 3000 K keine Doppelsterne gibt. Diese findet man erst ab 3000 K, ab den M5-Sternen (siehe Grafik 3). Das ist der Temperaturbereich, in dem der Stern eine Rotation erreicht, bei der die Gasscheibe abplattet.

Oberhalb des Instabilitätsstreifens gibt es eine Grenze, bei der keine Dreifachsysteme mehr existieren. Es gibt nur noch Zweifachsysteme bei Sternen im oberen Temperaturbereich.

¹⁶³ Rotation und Temperatur von 3 Jungsternhaufen verschiedenen Alters im HRD.

Man wird bei den Dreifachsystemen nicht alle erkennen, aber man wird mehr erkennen. Bei den heißen Sternen oberhalb des Instabilitätsstreifens hat man weniger Doppelsterne, und man wird auch da nur einen Teil erfassen. Das dürften demnach auch spektroskopische Doppelsterne sein. Klar ist, dass damit die Häufigkeit ab den B5-Sternen stark abnimmt. Demnach ist die große Häufigkeit der Doppelsterne von den A4- bis zu den B6-Sternen der Bereich, bei dem sich der Jupitertyp und der Erdtyp zum Stern werden. Von den F4- bis A5-Sternen entwickelt sich nur der Jupitertyp zum zweiten Stern. Oberhalb dieser Temperatur fällt der Stern vom Erdtyp wieder weg. Beide Typen sind Sterne mit Eisenkernen entstehen nur deswegen, weil der Erststern in Instabilitätsstreifen noch eine Krise hat sich verkleinert und damit sich ein neues System von Planeten entwickelt, die zum Stern werden.

3.2.5. Massenunterschied der Doppelsterne

Die Massenunterschiede der Doppelsterne sind dadurch zu erklären, dass der Zweitstern einen Planetenkern hat. Dieser entwickelt sich später, weil erst der Planet entstehen muss und sich dann aus ihm ein Stern bildet. Weil er später entsteht, kann er auch nicht die Masse eines Erststerns erreichen. Der Zweitstern ist immer geringerer Masse und zudem anders aufgebaut. So kennt man den Erststern und den Einzelstern immer an der Masse.

Die Masse der Zweitsterne ist bei kühlen Doppelsternen unabhängig vom Erststern. Zu höheren Temperaturen hin, - das beginnt an den G-Sternen, - ist sie abhängig von Erststern. Man kann sagen die RS-Canum-Venaticorum-Sterne sind noch ungestörte Jupitertypen. Zu den höheren Temperaturen hin stört die Verkleinerung, stört die T-Taurikrise des Erststerns die Entwicklung eines Jupiters. Es fehlen daher Doppelsterne im Übergang von den G-Sternen zu den F-Sternen.

Im Bereich der Instabilitätsstreifens gibt es Doppelsterne oder Sterne mit drei Komponenten. Das äußere System nenne ich den Jupitertyp und hat die größere Masse. Das kleinere System entsteht aus einer Erde und wird erst im späteren Verlauf größer und ebenfalls zum Stern. Im Instabilitätsstreifen hat man eine entfernte Komponente mit größerer Masse und in der zweiten eine nahe Komponente mit kleinerer Masse. Damit lässt sich ein System wie Algol erklären, wo das Dreifachsystem diesen erklärten Aufbau hat (38.1.)¹⁶⁴.

Oberhalb des Instabilitätsstreifens erfährt der Erststern keine Verkleinerung mehr. Demnach entwickelt sich der Jupitertyp ohne Störung. Dafür fällt der Erdtyp weg. Das wäre ab den B3-Sternen. So entstehen bei hohen Sterntemperaturen nur noch Doppelsterne, die eine größere Masse besitzen als ihre kühleren Vertreter. Es ist aber nicht auszuschließen, dass entferntere Gasplaneten, ebenfalls zu Sternen werden.

3.2.6. CP-Sterne

Die CP-Sterne zeichnen sich dadurch aus, dass schwere Elemente zu den heißen Sternen hin plötzlich wieder häufiger werden. Damit verbunden sind äußere Magnetfelder, die vergleichbar sind

¹⁶⁴ „Die Milchstraße – Innenansicht unserer Galaxie“ Johannes Viktor Feitzinger - Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin 2002

Das Algol-System besteht aus einem engen Doppelsternsystem und wird von einem dritten Stern umlaufen. Algol A ist ein B8 Hauptreihenstern mit 3,6 Sonnenmassen und 2,89 Sonnenradien. Der Begleiter Algol B scheint ein G oder K-Stern mit 0,79 Sonnenmassen und 3,53 Sonnenradien zu sein, der sich gerade von der Hauptreihe entfernt. Das System hat eine Periode von 2,8673 Tagen. Algol C hat 1,6 Sonnenmassen und 1,5 Sonnenradien und bewegt sich mit einer Periode von 679,6 Tagen um die zentralen Sterne. Das Algol-System hat 6 Nebenperioden.

mit den Sonnenflecken. Die Erklärung liegt darin, dass Körper bis hin zu der Größe eines Planeten abgestürzt sind. Aus der Größe der abstürzenden Körper ergibt sich auch die Stärke der Magnetfelder.

Da es sich um heiße Sterne handelt, kondensieren Körper mit hoher Ordnungszahl und diese beeinflussen die Sternoberflächen. Die Begründung für den Absturz vom Planeten liegt darin, dass es sich meines Erachtens bei den CP-Sternen generell um enge Doppelsterne handelt. Bei den G-Sternen würde ich ihn den ungestörten Jupitertyp vor der T-Tauriphase nennen. Bei den A- und B-Sternen spreche ich vom gestörten Jupitertyp der den Am-Stern bildet, und dem Erdtyp der ein Ap- und Bp-Stern. Sie können als Doppel- oder Dreifachsterne im Instabilitätsstreifen auftreten.

3.2.7. RS-Canum-Venaticorum-Sterne

Die RS-Canum-Venaticorum-Sterne oder RS-CVn-Sterne sind G-Sterne. Sie sind jedoch Unterriesen und bedeckungsveränderliche Sterne. Es sind Doppelsterne, aber unabhängig davon auch veränderliche Sterne. Ihre Rotation ist synchron, und sie rotieren beide im Vergleich zu ihren Artgenossen sehr schnell (10.12.)¹⁶⁵. Die Helligkeitsschwankungen werden durch riesigen Sternflecken erzeugt. Die Rotation macht diese Flecken besonders sichtbar. Diese Sterne haben ausgeprägte Koronen, die sich durch Röntgenstrahlung bemerkbar machen. Damit sind sie vergleichbar mit den Flare-Sternen unter den M-Sternen.

Da es sich um enge Doppelsterne handelt und Planeten in der Nähe des Sterns entstehen, kommen diese zum Absturz. Die Parallele zu den Flare-Sternen liegt darin, dass auch bei ihnen kleinere Körper abstürzen. Somit haben sie die gleiche Ursache für ihr Verhalten. Die Körper die bei den RS-CVn-Sternen abstürzen, sind nur größer.

Wesentlich bei diesen Sternen ist auch ein Verhalten, was für alle engen Doppelsterne unter den G-Sternen gilt. Ihre Rotation ist höher als die der Einzelsterne (10.11.)¹⁶⁶. Vergleicht man dieses Verhalten mit den heißen engen Doppelsternen, so verhält es sich dort umgekehrt. Bei den engen Doppelsternen ist dies langsamer.

Das ist damit zu erklären, dass der Zweitstern aus einem Planeten entsteht und damit das größere Drehmoment entsteht. Seine Rotation lässt sich so durch den Erststern nicht nehmen. Da bei den kühlen Sternen der Erststern über die Planetenentstehung in seiner Nähe ausgebremst ist, treibt er ihn an. Die heißen Sterne halten die Rotation. Bei ihm wird diese Rotation daher über den zweiten Stern gebremst.

Dieser Doppelsternotyp ist die Weiterentwicklung der Exoplaneten der von mir bezeichneten Jupiterkurve oder vom Jupitertyp bei heißen Doppelsternen. Die RS-Canum-Venaticorum-Sterne wären demnach auch ungestörte Jupitertypen vor der T-Taurikrise und ähneln dem ungestörten Jupitertyp ab den B3-Sternen. Dieser schafft es vor der T-Taurikrise genügend Masse zu sammeln, um in der Position zu bleiben. Vergleicht man dies mit der Struktur des Sonnensystems, so er in der Lage den Titan bei sich zu behalten. Über den Eisenkern eines Jupiters erklärt sich zudem der Magnetismus dieser Sterne.

¹⁶⁵ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford 1994

RS-Canum-Venaticorum-Sterne

S. 183 f

¹⁶⁶ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford 1994

Die Rotation ist bei engen G-Sternpaaren erhöht, während sie bei Paaren heißer Sterne verlangsamt ist.

S. 216 f

3.2.8. Ap- und Am-Sterne

Auch die Ap- und die Am-Sterne gehören zu den CP-Sternen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie an der Oberfläche eine große Zahl schwerer Elemente aufweisen (10.9.)¹⁶⁷. Zudem können sie einen sehr starken Magnetismus haben. Die meisten CP-Sterne kommen bei den A-Sternen vor. Es gibt sie aber auch bei den F- und B-Sternen. Bei den CP-Sternen handelt es sich immer um enge Doppelsterne, wobei es bei den Ap-Sternen nicht ganz klar ist. Meine Idee würde aber besagen, dass sie Doppelsterne sein müssen. Der Typ von Gasplanet aus dem dieser Stern entsteht, entspricht dem Erdtyp bei den Ap-Sternen. Der Am-Stern entstammt ebenfalls dem Erdtyp. Er tritt nur früher auf. Das genaue Temperaturspektrum liegt bei den Ap-Sternen bei 8000 bis 18000 Kelvin (41.4)¹⁶⁸ und bei den Am-Sternen bei 7000 bis 10000 Kelvin (41.5.)¹⁶⁹. Beim Am-Stern stürzen kleinere Körper und beim Ap-Stern stürzen große Körper, wie ein Mond ab. Da diese Körper alle rotieren und massiv Eisen enthalten erzeugen sie ein so großes Magnetfeld. Die Ap-Sterne treten zu den höheren Temperaturen auf, weil es länger dauert bis sich ein solcher Körper entwickelt.

Die große Häufigkeit bei den A-Sternen ist einfach damit zu erklären, dass die Häufigkeit der Doppelsterne von den F-Sternen zu den A-Sternen steigt. Die Ursache liegt daran, dass Planeten abstürzen und in den Stern fallen, weil der Abstand zwischen den Sternen so klein ist. Die niedrige Rotationsgeschwindigkeit ergibt sich daraus, dass der Zweitstern durch den Planetenkern, den ersten über die synchrone Rotation bremst. Durch den Planetenkern hat er das größere Drehmoment und lässt sich über den Erststern nicht so leicht antreiben.

Das Magnetfeld entsteht, weil die Planeten einen Eisenkern haben, die dieses Magnetfeld auslöst. Wenn eine solche rotierende Kugel mit Eisennickelkern in einen Stern fällt, was in tieferen Schichten metallische Eigenschaften hat, kann das sehr starke Magnetfelder entwickeln.

Das besondere der Magnetismus liegt darin, dass sie an die Oberfläche gebunden sind. Wäre das nicht der Fall könnte man von einem Magnetfeld ausgehen, was über den Kern gesteuert wäre. Es spricht jedoch eher dafür, dass dieses Magnetfeld an diese Oberfläche gebunden ist. Dort, wo sich an besonderen Stellen der Sternoberfläche Silizium sammelt, ist der stärkste Magnetismus (10.40.)¹⁷⁰.

¹⁶⁷ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Am-Sterne zeigen ein hohes Vorkommen von schweren Elementen oberhalb des Eisens und ein besonderes Vorkommen der seltenen Erden. Die metallreichen A-Sterne gehören Doppelsternsystemen.

S. 215 ff

¹⁶⁸ „Der neue Kosmos“ 7. Auflage, Einführung in die Astronomie und die Astrophysik, A. Unsöld, B. Baschek, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York 2002

Die Temperaturgrenzen der Ap-Sterne liegen bei 8000 bis 18000 Kelvin. - S. 252

¹⁶⁹ „Der neue Kosmos“ 7. Auflage, Einführung in die Astronomie und die Astrophysik, A. Unsöld, B. Baschek, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York 2002

Am-Sterne liegen bei Temperaturen von 7000 bis 10000 Kelvin. - S. 253

¹⁷⁰ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Der Magnetismus der Ap-Sterne ist an die Oberfläche gebunden. Die Häufigkeit der Silizium-Linien an der Sternoberfläche sind an die Stärke des Magnetismus gebunden.

S. 218/219

Die allgemeine Häufigkeit schwerer Elemente an der Oberfläche kommt durch den Absturz von mondgroßen Körpern.

Der Entstehungshergang zeigt aber auch, dass der Zweitstern diesen Planetenkern hat, der mit Ursache des Magnetismus ist. Dieser Kern wird über die Gravitation kleiner, rotiert damit schneller und der Magnetismus wird. Größer.

3.2.9. Sternklassifizierung

Im Instabilitätsstreifen existieren demnach drei verschiedene Klassen von Sternen. Es sind zwei Planetentypen und der Erststern. Die Kernzusammensetzung ist demnach auch eine ganz andere. Die Planetentypen haben wesentlich weniger Gase zu Verfügung, die sich auf die Instabilität auswirken. Der Erststern hat starke Pulse und der die Zweitsterne haben schwache Pulse (Zwerg-Cepheiden). Demnach sind die grundlegenden Arten recht leicht an dem Pulsverhalten zu erkennen. Damit wird auch verständlich, warum die Pulsation bei Sternen der Population II, also den W-Vir-Sternen, viel stärker ist als bei den Massenähnlichen Zwerg-Cepheiden.

Eine weitere Möglichkeit die unterschiedlichen Typen von Sternen zu unterscheiden oder zu erkennen, liegt in der Dichte eines Sterns. Der Zweitstern hat eine größere Dichte als der Erststern. Dann muss man noch den dem gestörten Jupitertyp vom Erdtyp unterscheiden. Der Erdtyp hat von allen die größte Dichte, wenn man sie in der gleichen Entwicklungsphase vergleicht.

Der gestörte Jupitertyp hat zudem immer mehr Masse als der Erdtyp, weil er seine Entwicklung eher beginnt.

Der kühle (späte) Jupitertyp sammelt große Mengen Kometen, weil der Erdtyp noch in der Entwicklung ist. Der Erdtyp kann noch nicht alle Kometen einfangen, weil ihm die Masse fehlt. Der gestörte Jupitertyp, demnach in der dritten Position, kann sich daher zur Nova entwickeln.

Der Erdtyp entwickelt sich später und kann erst mit zunehmender Temperatur des ersten Sterns mehr Masse und mehr damit auch mehr Kometen einsammeln. Damit nimmt er dem Jupitertyp die Eismassen. Die Nova geht beim Jupitertyp mit steigender Temperatur des Erststerns zurück während sie beim Erdtyp zunimmt. Im gleichen Zuge kann jedoch der Erdtyp die Nova nicht zünden, weil es ihm an Masse fehlt. Er kann es erst dann, wenn er zum weißen Zwerg geworden ist und Gase vom Erststern abzieht. Mit zunehmender Temperatur des Erststerns wird die Zwergnova stärker. Sie bricht mit einem Mal ab, weil der Erdtyp im oberen Temperaturbereich verschwindet. Im gleichen Zuge beginnt die Existenz der Wolf-Rayet-Sterne. Sie entwickeln sich aus dem ungestörten Jupitertyp.

Die Sterne mit Planetenkernen bieten zusätzlich eine Erklärung, warum sie eher die Hauptreihe verlassen. Der Erdtyp hat mit Abstand den größten Planetenkern, weil er am spätesten entsteht. Damit ist sein fusionsfreier Raum der größte, und die fusionsfähige Masse am geringsten. Durch die hohe Dichte im Kern fusioniert er zudem relativ schnell und verlässt viel eher die Hauptreihe. Damit lässt sich das Phänomen erklären, warum massenärmere Sterne die Hauptreihe eher verlassen.

3.2.10. Die obere Grenze des Instabilitätsstreifens

Wenn der gestörte Jupitertyp in der dritten Position endet, ist dies das obere Ende des Instabilitätsstreifens. Dieses Ende liegt bei den B1-Sternen. Der Erdtyp steht in der zweiten Position und geht einfach in den ungestörten Jupitertyp über. Man sieht hier schon die verkehrte Bezeichnung meinerseits. Es gibt nur einen Planeten mit Eisenkern. Dieser kann Jupitertyp oder Erdtyp heißen. Auch der Erdtyp hat wie Jupiter einen Eisenkern. Insofern sind es keine Unterschiede, wenn man ihnen andere Namen gibt.

Der Erdtyp in dieser zweiten Position ist nun der Stern mit der Zwergnova. Wo die Zwergnova endet, setzt der WN-Stern ein. Diese Grenze hat nichts mit dem Instabilitätsstreifen zu tun.

Mein Fehler lag darin, dass ich die Linie des Instabilitätsstreifens in die Linie der Zwergnova gezogen habe. Die obere Grenze bedeutet jedoch nur, dass der Instabilitätsstreifen im Jupitertyp der zweiten Position seine Grenze hat. Im Moment würde ich sagen, dass die WN-Sterne innerhalb des Instabilitätsstreifens liegen. Das ist richtig. Die WN-Sterne gehen bis zu den B3-Sternen. Das bedeutet auch, dass die Supernova innerhalb des Instabilitätsstreifens liegt.

3.2.11. Gravitation und die Kerne von Zweitsternen

Durch die große Masse des Zweitsterns kann es bei den heißen Doppelsternen dazu führen, dass der Eisenkern über den hohen Druck der Gravitation zusammenbricht. Der Eisenkern und anfangs auch der Silikatmantel nehmen nicht an der Fusion teil. Man hat im Sternkern eine fusionsfreie Zone. Im innersten Kern wird demnach keine Temperatur erzeugt, die sich gegen den enormen Druck wehrt.

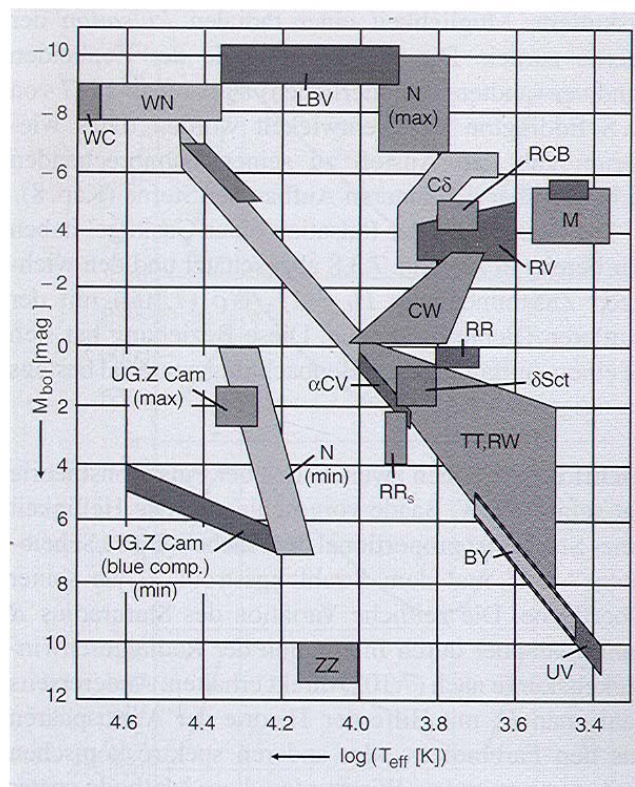


Abb. 7.31. Schematische Positionen einiger Typen veränderlicher Sterne im Hertzsprung-Russell-Diagramm (M_{bol} , T_{eff}) nach H. W. Duerbeck und W. C. Seitter

α CV	α CVn-Variable	RRs	Zwergcepheniden
BY	BY Dra-Sterne	RV	RV Tau-Sterne
C δ	klassische Cepheiden	RW	RW Aur-Sterne
CW	W Vir-Sterne	TT	T Tau-Sterne
δ Sct	δ Sct-Sterne	UG	U Gem-Sterne
LBV	Leuchtkräftige Blaue Variable	UV	UV Ceti-Sterne
M	Mira-Variable	WC, WN	Wolf-Rayet-Sterne
N	Novae	Z Cam	Z Cam-Sterne
RCB	R CrB-Sterne	ZZ	ZZ Ceti-Sterne

Grafik 43: Veränderliche Sterne im HRD (41.2.)¹⁷¹

¹⁷¹ „Der neue Kosmos“ 7. Auflage, Einführung in die Astronomie und die Astrophysik, A. Unsöld, B. Baschek, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York 2002

Ist nun die Masse dieses Kerns groß genug, kann er einmal zum Weißen Zwerg werden oder direkt zum Pulsaren. Die Größe des Kerns ist abhängig von der Rotation des ersten Sterns. Je größer diese Rotation ist, umso mehr kann auch dieser erste Stern sammeln, und umso höher sind auch eine Temperatur und seine Masse. Die Chandrasekhar-Grenze sorgt dafür, dass der Eisenkern zum Neutronenkern wird wenn der Stern seine größte Masse hat. Diese hat er, wenn er die Gasaufnahme abschließt, denn anschließend nimmt seine Masse ständig durch einen starken Sonnenwind ab.

Der Grundgedanke besagt, dass der Weiße Zwerg oder der Pulsar schon im Kern entsteht bevor der Stern seine Entwicklung abgeschlossen hat. Über die spätere Supernova wird nur die äußere Hülle abgesprengt, und es bleibt der Pulsar, oder es bleibt kein Pulsar. Der Pulsar erfährt damit noch mehr Rotation. Die Supernova wirkt als Impulsverstärker. Voraussetzung für einen späteren Pulsaren ist der Neutronenkern im Doppelsternsystem (13.15.)¹⁷².

Fällt ein Eisenkern zusammenfällt, steigt einmal die Rotation. Damit wird auch das Magnetfeld stärker. Wenn sich die Rotation im Kern stark erhöht, erhöht sich gleichzeitig die Rotation des gesamten Sterns. Damit rotiert das Doppelsternsystem schneller. Wenn sich der Kern nur über die Gravitation verdichtet, wird er etwas schneller und erzeugt ein starkes Magnetfeld, aber die Masse im Kern bremst den Stern eher.

Kandidaten, die zu den Doppelsternen passen, wären einmal die CP-Sterne und zum anderen die Wolf-Rayet-Sterne. Bei beiden Kategorien von Körpern handelt es sich um Doppelsterne (12.9.)¹⁷³(10.9.)¹⁷⁴. Bei den CP-Sternen wird der Planetenkern nur verdichtet. Auch das erhöht schon den Magnetismus. Bei den Wolf-Rayet-Sternen finden wir zwei Arten, die im HRD nebeneinander liegen (28.3.) (siehe Grafik 43). Es gibt einmal die kühleren WN-Sterne und neben ihnen liegen die heißeren WC-Sterne.

3.2.12. Charakter der Wolf-Rayet-Sterne

Die Wolf-Rayet-Sterne sind heiße und schnell rotierende Doppelsterne. Sie unterscheiden sich in WC- und WN-Sternen. Der ringförmige Nebel spricht für eine hohe Rotation des gesamten Systems. Sie gehören nicht zu den Planetarischen Nebel (10.29.)¹⁷⁵. Die hohe Rotation ist wiederum

Grafik für Typen von veränderlichen Sternen im HRD. S. 249

¹⁷² Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Pulsare sind nur in engen Doppelsternen vorzufinden. S. 154

¹⁷³ Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Die Wolf-Rayet-Sterne sind enge Doppelsterne. S. 157 ff

¹⁷⁴ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die metallreichen A-Sterne gehören Doppelsternsystemen. S. 215 bis 217

¹⁷⁵ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Wolf-Rayet-Sterne bilden ringförmige Nebel, die sich ganz klar von den Planetarischen Nebeln unterscheiden. Sie können demnach nicht die Vorform eines Planetarischen Nebels sein. S. 263

die Voraussetzung, um die Größe oder Masse eines Planetenkerns erklären zu können. Eine wesentliche Eigenschaft liegt im besonders starken Sonnenwind, der bis zu 4800 km/s haben kann (10.39.)¹⁷⁶.

Der Übergang von den CP-Sternen zu den WN-Sternen ist die Grenze bei der die Masse des Planetenkern groß genug ist, damit sich das fusionsfreie Zentrum in genügender Weise abkühlt, um die Eigenschaften des Weißen Zwerges anzunehmen. Unter dieser Grenze ist die Masse des Planetenkerns zu klein. Sie wird von dem umliegenden Raum erhitzt, weil in ihm die Fusion stattfindet.

Bei den WC-Sternen ist die Masse so groß, dass der Kern zum Neutronenkern zusammenfällt. Nur aus diesem Typ von Doppelsternsystem entstehen Pulsare. Der WN-Stern enthält nur einen Weißen Zwerg im Kern. Beide können zur Supernova werden, aber nur einem findet sich der Pulsar. Daher gibt es bei den Supernovaüberresten welche mit und welche ohne Pulsare.

Der Charakter der Wolf-Rayet-Sterne liegt darin, dass die Kerne im Zweitstern kategorisch zusammen fallen. Demnach bleibt daher die Frage, wie kann man den starken Sonnenwind erklären.

Wenn nun der Kern zusammenbricht, weil die Gravitation so groß geworden ist, ist das an der Oberfläche gar nicht zu merken. Mit dem Zusammenbruch beginnt zwar im Kern eine wesentlich stärkere Fusion, bis aber diese Energie nach außen dringt, nimmt der Stern weiterhin große Massen an Gasen auf. Durch diese verzögerte Reaktion sammelt er viel mehr Masse „als er eigentlich darf“. Die höhere Masse ist danach die zwingende Folge eines so starken Sonnenwindes, der erst später auftritt.

Wenn die Gase den Stern als Ring verlassen, so liegt es darin, dass die Rotation am Äquator am größten ist. Über den Sonnenwind und die schnelle Rotation am Äquator strömt daher dort das meiste Gas ab.

3.2.13. Dichte Kernen bei massenreichen Sternen

Wenn man nun davon ausgeht, dass sich in den ganz heißen Zweitsternen schon Kerne in der Dichte von Weißen Zwergen oder Pulsaren existieren, dann müsste es hinweise geben, die diese Überlegung unterstützen. Der Sonnenwind ist eine Erklärung. Es gibt aber noch eine andere.

Wenn man ganz heiße Doppelsterne beobachtet, findet man viele B-Sterne die einen Partner als O-Sterne haben. Es müsste nach den Gesetzen der Fusion so sein, dass der massenreichere Partner, also der O-Stern, die Hauptreihe zuerst verlässt. Je höher die Masse, umso schneller verläuft die Fusion. Das wäre dieses Gesetz. Dies trifft aber dort nicht zu. Es zeigt sich, dass der B-Stern bei geringerer Masse die Hauptreihe verlässt (14.36)¹⁷⁷. Das könnte man damit erklären, dass er mit der enormen Dichte im Kern unter höherem Druck und höherer Temperatur fusioniert.

Der zweite Hinweis findet sich in der Bewegung der heißen Sterne im HRD nachdem sie die Hauptreihe verlassen haben. Der Kern des Sterns fällt zusammen und die Hülle dehnt sich aus. Das heißt, der Stern wird kühler, aber dafür größer. So hält er seine Leuchtkraft, aber er wandert im HRD auf die rechte Seite zu den kühlen Sternen. Der Kern wird aber nur so lange kleiner und erhöht damit

¹⁷⁶ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

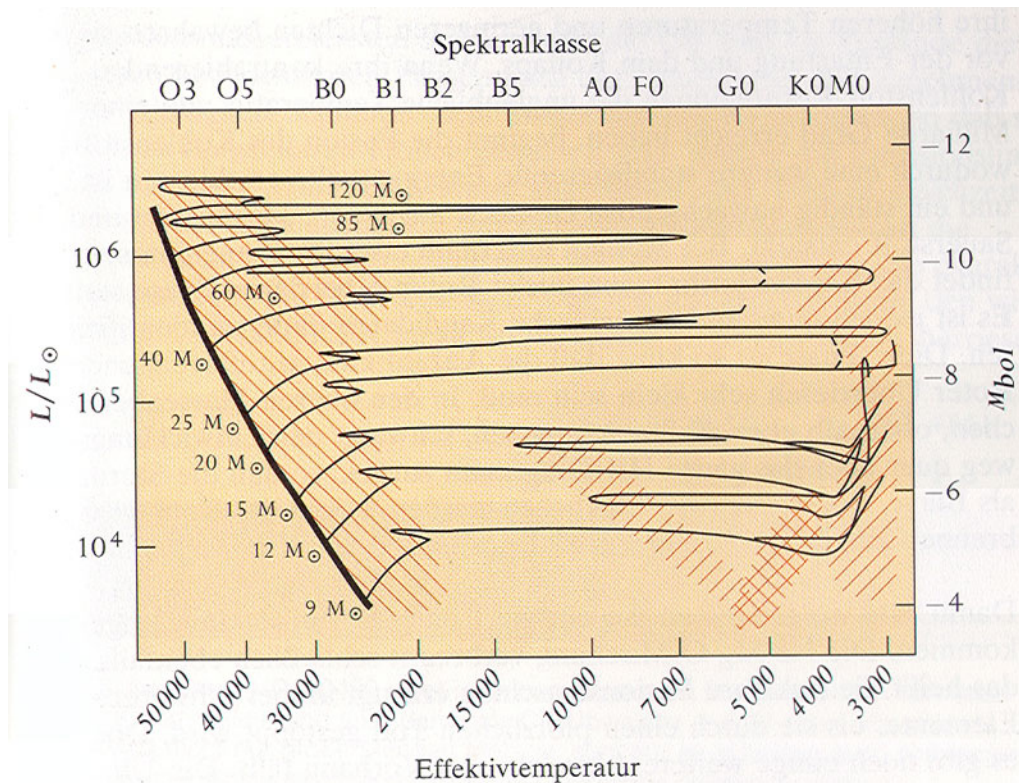
Der Sonnenwind der Wolf-Rayet-Sterne liegt bei 1,6% der Lichtgeschwindigkeit. Das wären 4800 km/s. Bei O-Sternen sind die Geschwindigkeit bei 2000 bis 3000 km/s. S. 262

¹⁷⁷ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Rote Überriesen bei den B-Sternen sind oft Partner von O-Sternen, sind aber weiter entwickelt und haben trotz der geringeren Masse die Hauptreihe verlassen.

S. 216

Druck und Temperatur, bis das Helium zündet. Dann kommt er wieder ins Gleichgewicht. Das wäre das Prinzip.



Grafik 44: Massenreiche Sterne oberhalb der Hauptreihe (14.35.)¹⁷⁸.

Die ganz heißen Zweitsterne im Doppelsternsystem haben entweder schon einen Kern von der Dichte des Weißen Zwerges oder gar eines Neutronensterns. Außerhalb dieses Kernkörpers wären der Druck und die Temperatur schon viel höher. Der Stern braucht nicht mehr so stark zusammenzufallen. Er wandert daher nicht so weit durch das HRD. Der Zweitstern mit dem Pulsaren würde den kürzesten Weg durch das HRD wandern und der Stern mit dem Kern der Weißen Zwerges wandert etwas weiter (Siehe Grafik 44). Demnach müssten bei ganz heißen Sternen zwei Stufen zu finden sein, und das ist tatsächlich der Fall.

3.2.14. Zwei Arten der Doppelsternentwicklung

Das Entstehungsprinzip von Mehrfachsternen muss in zwei Arten unterschieden werden. Es existieren der Erststern und die Zweitsterne. Alle Zweitsterne entstehen wohl aus einem Planeten, aber man muss die kühlen langperiodischen Doppelsterne von Doppelsternen mit kleinen Perioden grundsätzlich unterscheiden.

Die langperiodischen entstehen dadurch, dass der Planet Gase aufnimmt, an Dichte verliert und wegwandert. Damit fängt er Körper im äußeren Sonnensystem ein. Das gelingt ihm auch nur

¹⁷⁸ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Besonders massenreiche Sterne weisen beim Verlassen der Hauptreihe zwei Stufen auf.

S. 217, Grafik

deswegen. Weil die eingefangenen Monde in die gegenläufige Bahn kommen, das Mondsystem zerstören. Dadurch hat er einen enormen Massengewinn. Der wesentliche Gedanke liegt jedoch in die eingefangenen Körper nur gegenläufig eingefangen werden können. Sie arbeiten immer gegen die Strömung, die sich anders herum bewegt. Das heißt, bei zunehmender Gasaufnahme stürzen immer mehr große Monde ab. Er gewinnt so auf zwei Arten an Masse. Einmal ist es der Absturz der Körper, und zum anderen ist es die Gasaufnahme. Dadurch kann sich der Gasplanet bis zum Stern entwickeln.

Die Entwicklung des Gasplaneten zum Stern basiert bei engen Doppelsternen auf anderen Prinzipien. Die Masse des Planetenkerns ist an die Rotation und dem Sonnenwind des ersten Sterns abhängig. Die Rotation nimmt im Wesentlichen zu den heißen Sternen nicht mehr all zu stark zu. Was jedoch wächst ist der Sonnenwind. Mit dieser steigende Sonnenwind wird der Planetenkern größer. Besonders der Stern des Erdtyps entsteht später und erreicht die besonders große Masse.

Da Sterne hoher Temperatur weiterhin „Monde“ sammeln, die sich vom Stern entfernen wollen, abstürzen sie ab, weil sie zwischen den Sternen keine stabile Bahn finden. Damit erklärt sich die Oberflächenverunreinigung der CP-Sterne. Auch hier hat man es mit dem Absturz von Festkörpern zu tun. Die Kernmasse des Planeten steigt im gleichen Zuge mit der Rotation des Erststerns. Innerhalb der Instabilitätsstreifen ist der Erdtyp in der Entwicklung begrenzt, weil seine Entwicklung so spät beginnt. Sein Planetenkern ist aber trotzdem so groß. Wodurch dadurch die starken Magnetfelder der CP-Sterne entstehen. Das liegt daran, weil der Planetenkern so groß ist und damit auch eine hohe Rotation hat. Oberhalb der Instabilitätsstreifens existiert nur noch der ungestörte Jupitertyp. Seine Entwicklung setzt früher ein. das bedeutet, sein Kern ist kleiner. Damit hat er auch eine kleinere Rotation als sein. Bei stürzen wohl mehr Körper ab, aber diese verstärken nicht die innere Rotation des Kerns. So wird der Kern wohl massenreicher an schweren Elementen, aber die Kernrotation ist nicht größer.

3.2.15. Doppelsternbildung und Planetenentstehung

Das Wesentliche der Doppelsternbildung liegt darin, dass sie nur verständlich wird, dass sich die Körper um einen Stern hintereinander bilden und wenn man das Prinzip der Gasaufnahme in Sternnähe verstanden hat. Hiezu kommt, dass die Krise des Erststerns zu Bildung von zwei Sternen mit Planetenkernen führt, die jeweils einen Eisenkern besitzen. Nur über das richtige Verständnis der Planetenentstehung ist es möglich das Rätsel der Mehrfachsternsysteme zu lösen.

3.2.16. Die Leuchtkraftklassen

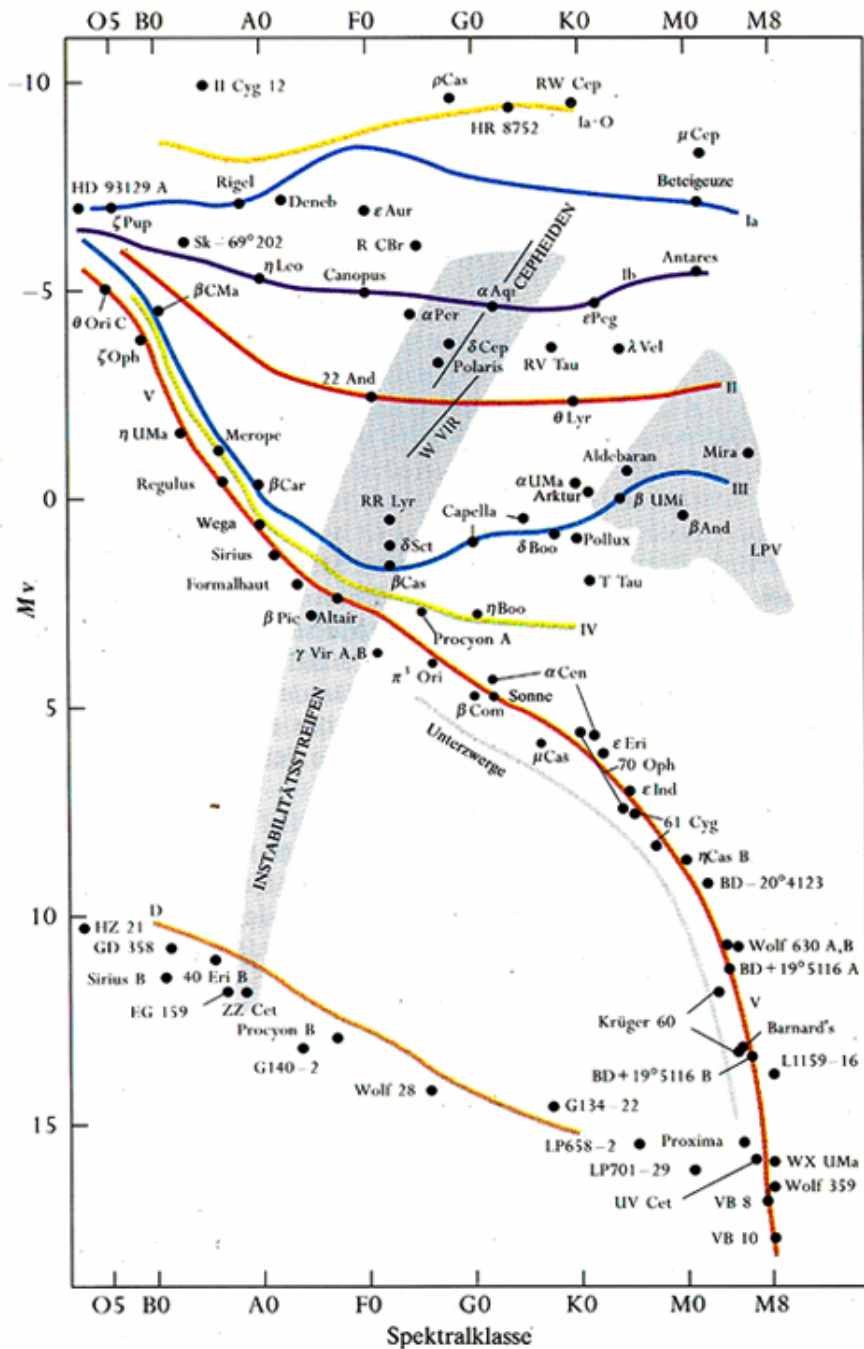
Die Leuchtkraftklassen (LKK) lassen sich recht leicht in die Arten von Sternen unterteilen, die bisher bei den Doppelsternen und Einzelsternen existieren. Es gilt dabei nur die Leuchtklassen zu betrachten, die die Hauptreihe verlassen haben (siehe Grafik 45).

Die Leuchtkraftklasse II (LKK III) kann dem Erststern zugeordnet werden, der die Hauptreihe verlassen hat, und Sterne bis zum oberen Ende des Instabilitätsstreifens betrifft. Die LKK IV kann man dem Erdtyp zuordnen. Als Vorläufer finden sich bei ihnen auch die Ap- und Bp-Sterne. Dazu gehört im späteren Verlauf der Entwicklung auch die Zwergnova. Das wäre der enge Zweitstern im Instabilitätsstreifen.

Die LKK III wird dem Jupitertyp zugeordnet, der dem entfernten Zweitstern im Instabilitätsstreifen entspricht. Das sind vorherige A-Sterne, und aus ihnen entsteht im späteren Verlauf die Nova.

Die LKK Ia und LKK Ib sind Doppelsterne oberhalb des Instabilitätsstreifens. Dazu gehören die Wolf-Rayet-Sterne. Die LKK Ia ist der Erststern und die LKK Ib ist der Zweitstern. Nur aus dieser LKK Ib entstehen direkt oder indirekt alle Arten der Supernova.

Die LKK Ia-O ist der Einzelstern.



Grafik 45: Leuchtkraftklassen im HRD¹⁷⁹

Man kann allgemein recht gut unterscheiden, dass Sterne mit Planetenkern einen allgemeinen starken Abfall in der Leuchtkraft erleben. Das liegt daran, dass die Gasmenge durch den Planetenkern kleiner ist. Er kann sich nach dem Verlassen der Hauptreihe gar nicht so weit ausdehnen. Aus diesem Grund kann man auch LKK Ia und LKK Ib recht gut unterscheiden. Der Stern mit dem Planetenkern fällt etwas stärker in der Leuchtkraft ab, wenn man sich zu den kühlen Sternen bewegt.

¹⁷⁹ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Grafik S.111

3.3. Besondere Fusionsprozesse

3.3.1. Fusionsprozesse und Positionen im HRD

Es gibt mehrere Fusionsstufen, die ein Stern durchmachen kann, hat er genügend Masse. Er findet sich bei jeder Stufe in einem bestimmten Bereich des HRD. Dort gibt es zwei Bereiche. Das ist einmal die Hauptreihe, hier wird Wasserstoff fusioniert. Der andere Bereich ist der Riesenast. Auf ihm findet die Fusion von Helium zu höheren Elementen statt.

Geht man noch einen Schritt zurück, so „fallen“ alle Sterne in ihrer frühen Phase erst einmal auf die Hauptreihe. Was dort auffällt, ist die Tatsache, dass Sterne mit geringerer Masse, die sich im rechten und kühlen Teil auf der Hauptreihe im HRD befinden, einen besonders starken Einbruch der Leuchtkraft erfahren. Wenn man davon ausgeht, dass der Stern seine Fusion nur durch die Masse bewerkstelligt, so ist es unverständlich, wie er vor dem Erreichen der Hauptreihe zu einer solch großen Leuchtkraft gelangt. Dahinter versteckt sich auch die Frage, warum die Kurve der Leuchtkraft auf der Hauptreihe über die Temperatur so stark ansteigt. Wenn man annimmt, es wäre nur ein Produkt der Masse, so kommt man mit der hohen Leuchtkraft vor dem Erreichen der Hauptreihe in Konflikt. Es ist unverständlich, welche Fähigkeit dem Jungstern geringer Masse eine so große Leuchtkraft vermittelt. Dieser Kurvenverlauf wird in der traditionellen Sicht zum Fusionsprozess nicht verständlich.

Die Betrachtung der Hauptreihe könnte so verständlich sein. Man sagt, der Stern höherer Masse erreicht eine höhere Temperatur und einen höheren Druck in seinem Inneren. Damit ist die Fusion von Wasserstoff zu Helium in einer breiteren Region seines Inneren möglich. Das wäre logisch. Hier könnte man jedoch eines einflechten. Sterne höherer Masse vergehen schneller. Das zeigt sich vor allem auch darin, dass sie die Hauptreihe schneller verlassen. Dieses Abwandern von der Hauptreihe ist bei den Sternhaufen unterschiedlichen Alters recht gut zu erkennen. Ist ein Sternhaufen älter, fehlen die heißeren Sterne auf der Hauptreihe. Je mehr auf dieser Hauptreihe fehlen, umso älter ist dieser Haufen. In dieser Beschreibung stößt man jedoch auf ein Problem. Aus dieser Logik der Altersbestimmung müsste sich mit zunehmendem Alter des Haufens die Abwanderungsgrenze immer weiter zu den kühlen Sternen verlagern. Das ist nicht der Fall. Bei den G-Sternen und auch schon bei den F-Sternen lässt die Abwanderung langsam nach. Hier könnte demnach noch ein anderer Mechanismus existieren, der für die großen Unterschiede der Leuchtkraft auf der Hauptreihe sorgt.

Aus den bisherigen Überlegungen geht hervor, dass große Mengen Substanzen hoher Dichte besonders bei kühlen Sternen abgestürzt sind. Dieser Effekt stört die Fusion, denn diese Substanzen sinken in tiefere Regionen. Darauf hin verlieren diese Sterne an Leuchtkraft und zum Schluss setzen sich die schweren Elemente im Kern ab. Der Kern des Sterns, in dem die höchste Temperatur und der größte Druck herrschen, wird nun von schweren Elementen besetzt. Damit ist dort die Fusion von Wasserstoff zu Helium nicht mehr möglich. Auf diese Weise verliert der kühlere Stern grundsätzlich an Leuchtkraft. Diese kann er auch nicht mehr zurückgewinnen.

Junge Sternhaufen, die sich gerade auf der Hauptreihe abgesetzt haben, liegen unterhalb der Hauptreihe, weil sich die schweren Elemente noch nicht abgesetzt haben. Ihre Leuchtkraft ist fast um eine Leuchtkraftklasse geringer. Erst im weiteren Alterungsprozess heben sie die Leuchtkraft um ein gewisses Maß an, weil diese schweren Elemente erst später im Zentrum des Sterns angelangen.

Unter diesem Aspekt ist klar, warum kühle Sterne in ihrer frühen Entwicklung eine so hohe Leuchtkraft hatten. Der Kern dieser Sterne war frei von schweren Elementen und zu einem wesentlich stärkeren Fusionsprozess fähig.

Betrachtet man den Fusionsprozess auf der Hauptreihe, so ist das Gefälle der Leuchtkraft zu den kühlen Sternen hin nicht nur ein Produkt der Masse eines Sterns, sondern die Leuchtkraft nimmt zu den kühlen Sternen deswegen so sehr ab, weil der Anteil schwerer Elemente im Kern von Sternen zu den kühlen Temperaturen hin zunimmt. Da massenarme Sterne eine kleine fusionsfähige Region haben, ist die Einschränkung besonders stark, weil der wichtigste Bereich anderweitig belegt wird.

Das Abwandern von der Hauptreihe ergibt damit einen neuen Sinn. Bis zu den G- und F-Sternen haben sich große Mengen schwerer Elemente im Kern abgesetzt. Oberhalb dieses Temperaturbereiches wird der Anteil schwerer Elemente kleiner.

3.3.2. Fusionsstufe des Heliumbrennens eines Sterns

Wenn man den Sprung von der ersten Fusionsstufe eines Sterns in die zweite betrachtet, so fällt auf, dass Sterne unterschiedlicher Masse im HRD aus an sehr verschiedenen Orten, plötzlich an einem anderen Ort eng zusammen rücken. Diesen Ort nennt man Riesenast, und er ist eine Linie im HRD, die viel kürzer ist als die Hauptreihe. Zudem laufen in seiner Nähe unterschiedliche Fusionsstufen ab. Die Sterne machen, unabhängig von der Masse, eine starke Veränderung durch, wenn sie vom Wasserstoffbrennen auf der Hauptreihe zum Heliumbrennen auf dem Riesenast wechseln.

Das liegt in erster Linie daran, dass Helium ein sehr häufiges Element ist, das mit dem Entstehen eines Sterns und seiner Gasaufnahme im Stern gesammelt wird. Helium ist auch vorher im Stern, wird aber nicht genutzt. Der Anteil von Helium im Universum ist neben dem Wasserstoff äußerst groß. Wenn der Stern seinen Wasserstoffanteil zu Helium verbrannt hat, gibt er diesen selbst geschaffenen Eigenanteil zum vorhandenen Anteil hinzu. Der Stern zündet demnach nicht nur die selbst geschaffene Menge an Helium, sondern zudem den Teil den er am Anfang seiner Entstehung aufgenommen hat.

In den weiteren Stufen der Fusion ist das nicht mehr so. In ihnen erschafft der Stern in der jeweiligen Stufe in der er steckt, die Elemente höherer Ordnungszahl, die er in der nächsten Stufe verbrennt. Nach dem Heliumbrennen wird ihm in jeder weiteren Stufe nicht mehr so viel Material zu Verfügung stehen. Deswegen liegen alle weiteren Stufen der Fusion immer in der Nähe des Riesenastes.

Schafft es ein Stern geringerer Masse durch das Komprimieren seines Kerns in die Stufe des Heliumbrennens zu gelangen, so hat das größere Auswirkungen als bei einem Stern großer Masse. Die Auswirkungen vom hoch verdichteten Kern können sich leichter an die Oberfläche hin durchsetzen. Deswegen wird solch ein Stern sehr viel leuchtkräftiger. Beim massereichen Stern verändert sich die Leuchtkraft nicht so sehr. Er dehnt sich eher aus und seine Temperatur an der Oberfläche nimmt stark ab. Beide Sterne kühlen äußerlich ab. Das liegt daran, dass sich die Fusion in tiefere Schichten verlagert. Der Weg nach außen ist weiter und damit wird die Temperatur nicht mehr so gut übertragen. Hier kann es übrigens auch sein, dass ein Stern geringerer Masse auf der Stufe des Heliumbrennens eine höhere Leuchtkraft entwickelt als ein Stern größerer Masse. Das liegt daran, dass sich die höhere Fusionsstufe stärker auf den masseärmeren Stern auswirkt.

3.3.3. Fusionsprinzip der Nova

Sterne mit großer Masse erbrüten sich sozusagen die Elemente, die sie sich der nächsten Stufe fusionieren. Das wäre eine der Aussagen, die ich aus den Bewegungen auf dem Riesenast abgeleitet habe. Es gibt aber auch Sterne, die als Nova explodieren. Dahinter muss ein Prinzip stecken, das zu diesem Verhalten führt.

Zur Nova gibt es zwei Aussagen: Die Nova findet nur in Doppelsternen statt. Die Nova ist schwächer als die Supernova.

Wenn die Fusion im Stern weiter fortschreitet, kann es sein, dass er eine Zündtemperatur erreicht, die die äußere Schicht des Planetenkerns zündet. Diese oberen Schichten bestehen aus leichten Elementen, wie Sauerstoff und Kohlenstoff und anderen leichten Elementen. Es ist in erster Linie das Wasser, wo der Sauerstoff übrig bleibt. Man sieht schon bei den Monden des Jupiters, dass sie enorme Schichten von Wasser sammeln. Bei Ganymed könnte er bis zu 700 Kilometer Dicke haben. Ein Jupiter wird beim Einfang seiner Monde einen noch stärkeren Mantel entwickeln. Es

handelt sich daher auch um größere Mengen, die vorher schon im Kern des Zweitsterns zur Verfügung stehen. Die Nova zündet diese äußere Schicht.

Es gibt zudem die Möglichkeit der wiederholten Nova. Sie zündet die Schale um den Silikatmantel. Verliert dann wieder an Masse, kommt aus dem Bereich der erwarteten Masse heraus, sammelt dann aber wieder Masse vom Nachbarstern. Dann setzt die Nova wieder ein.

3.3.4. Arten der Supernova und ihre Fusion

Die Supernova zündet den Silikatmantel des Planetenkerns im Zweitstern. Dieser Mantel erwartet eine höhere Fusionsstufe. Daher muss der Stern noch mehr Masse besitzen, um diesen Mantel zu zünden. Hier herrscht wieder das gleich Prinzip, wie beim Helium-Flash. Der Stern produziert seine eigenen Elemente. Das wären ab einer bestimmten Fusionsstufe auch Silikate. Diese alleine würden nicht ausreichen, um in der nächsten Stufe eine so gewaltige Reaktion auszulösen. Dadurch, dass die Silikate des Planetenkerns über einem Eisenmantel liegen, existiert der Überschuss, der ab einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck mit einem Mal zündet.

Es gibt vier wesentliche Klassen der Supernova (5.77.)¹⁸⁰. Sie werden bezeichnet mit der Supernova vom Typ II, vom Typ Ia bis Typ Ic. Die Supernova Ia zündet sehr spät und wird vorher noch zum Weißen Zwerg.

Die Supernova vom Typ Ia hat keine Wasserstofflinien. Der Typ Ib hat zwar keine Wasserstofflinien, aber sie hat Heliumlinien. Die Supernova vom Typ Ic hat Sauerstoff- und Kalziumlinien, aber weder Wasserstoff- noch Heliumlinien.

Was unterscheidet die Supernova I von der Supernova II? Was fehlt sind nur die Wasserstofflinien. Man kann demnach sagen, dass dieser Stern die Hauptreihe verlassen hat. Mehr nicht. Es gibt demnach eine Supernova, die zündet während der Stern noch auf der Hauptreihe ist und die andere Art der Supernova zündet nachdem er die Hauptreihe verlassen hat. Was bedeutet aber das Verlassen der Hauptreihe? Der Stern fällt zusammen, weil er kein Fusionsmaterial mehr hat. Er hat den Wasserstoff verbraucht. Wenn er zusammenfällt, erhöht er den Druck im Kern und das Helium wird verbrannt. So zündet die nächste Stufe.

Es ist nun bei massenreichen Sternen so, dass mit dem Wasserstoffbrennen im Kern weitere Stufen gezündet werden. Es brennt nicht nur eine Stufe sondern es brennen über die Zeit immer mehr Stufen. Wenn nun das Wasserstoffbrennen beendet wird, fällt der Stern zusammen und es wird dadurch eine ganz andere Stufe gezündet.

Es gibt demnach Fälle, wo die Zündstufen bis zum Zünden des Silikatmantels auf der Hauptreihe durchlaufen und es zur Supernova kommt. Das ist eine Variable. Je höher die Masse des Zweitsterns, um so eher zündet die Supernova. In dem Fall ist die Masse des Sterns auf der Hauptreihe groß genug, um bis zu dieser letzten Stufe zu zünden. Das wäre die Supernova II.

Im anderen Fall der Supernova I ist die Masse zu klein. Der Stern kann diese letzte Stufe nicht zünden. Demnach wartet er den Fusionsprozess des Wasserstoffbrennens ab. Erst dann zündet die Supernova, weil der Teil des Sterns zusammen fällt in dem das Wasserstoffbrennen beendet ist. Wichtig ist dabei nur, dass dies bei kleineren Sternmassen geschieht.

Die Massen im Zweitstern werden größer, wenn man zu höheren Temperaturen gelangt. Das bezieht sich auf den Erststern und es gilt auch auf den Zweitstern. Diese unterschiedlichen Massen

¹⁸⁰ Supernova vom Typ II zeigt Wasserstoff- und Heliumlinien. Die Supernova vom Typ Ia zeigt dies nicht. Ihr Fusionsprozess unterscheidet sich fundamental von dem der anderen Supernovae. Die Supernova vom Typ Ib zeigt keine Wasserstofflinien aber Heliumlinien. Die Supernova vom Typ Ic zeigt weder Wasserstoff- noch Heliumlinien, aber Sauerstoff- und Kalziumlinien.

reichen, um das vorige Verhalten zu erklären. Im gesamten Gedanken steckt die Aussage zu diesem Grenzwert bei dem die Supernova nicht zündet.

Der Grenzwert zwischen Supernova II und I ist eine eindeutige Linie im HRD und sie liegt unterhalb der Grenze zwischen den WC- und WN-Sternen. Deswegen bleibt bei der Supernova I kein Pulsar, weil er vorher im WN-Stern nicht entstanden ist.

Die Supernova I ist deswegen stärker als die Supernova II, weil der Stern stärker komprimiert ist (12.6.)¹⁸¹.

3.3.5. Stärke der Supernova Ia

Die Massen des Planetenkerns sind abhängig vom Sonnenwind und der Rotation des Sterns. Die Rotation würde ich als konstant annehmen. Damit bliebe nur der Sonnenwind, der mit zunehmender Masse eines Sterns steigt. Je höher nun der Sonnenwind ist, umso höher ist die erwartete Dichte eines Planeten vor der Gasaufnahme. Mit der höheren Dichte muss seine Masse steigen, die über die Gravitation diese druckbelastete Dichte erzeugt. Damit kann man die steigende Masse des festen Planetenkerns mit zunehmender Sternmasse erklären. Die Masse dieses festen Planetenkerns ist ein Maß für das Zündmaterial der Supernova. Diese Masse des Planetenkerns steigt kontinuierlich mit der Masse des Zweitsterns. Wenn die Supernova Ia zündet, liegt es daran, weil sie genau an der Untergrenze der Supernova II liegt. Diese Untergrenze ist ein genaues Maß für die Sternmasse, aber auch ein Maß für die Masse des Planetenkerns. Damit hat man auch ein Eichmaß für die Supernova Ia.

3.3.6. Das Fehlen der Supernova II in der Population II

Für die Supernova Ia hätte man bei der jetzigen hohen Metallizität der Gase im Universum eine spezielle Schnittstelle im HRD. Bei einer bestimmten Masse des Erststerns und seinem Spektrum, wäre sie vorzufinden. Die Supernova II liegt ihr gegenüber immer in einem höheren Massenbereich von Sternen.

Wenn man sich nun die Entwicklung eines Planetenkerns bei geringer Metallizität vorstellt, so benötigt er eine längere Zeit bis er die entsprechende Masse sammelt. Er hat sich daher auch etwas weiter vom Erststern entfernt. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Erststern ein Einzelstern wird und sich überhaupt kein Doppelstern bildet. Mit abnehmender Metallizität muss sich daher die Rate der Supernovae verkleinern.

Je höher man nun in der Masse eines Sterns geht, umso ungünstiger werden die Bedingungen für die Bildung eines Planeten zum Stern, denn der Sonnenwind wird immer härter. Damit wird sich die Wahrscheinlichkeitsrate zur Bildung von Doppelsternen zu hohen Sternmassen hin stärker sinken. Man kommt dann an einen Grenzwert der Metallizität, wo es äußerst unwahrscheinlich ist, dass sich die Supernova II bildet. So könnte man erklären, warum es in der Population II also bei den Kugelsternhaufen und den elliptischen Galaxien keine Supernova II gibt.

¹⁸¹ . Joachim Herrmann: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Die Supernova Typ I erreicht ein Maximum von $-18,7$ und I nimmt 3m in 25 bis 40 Tagen ab. Die Supernova II erreicht ihr Maximum bei $-16,3$ und nimmt um 1m in 20 Tagen ab.

3.4. Das Ende der Sterne

3.4.1. Der Unterschied zwischen DA- und DB-Sternen

Aus den bisherigen Überlegungen kommt man zu dem Schluss, dass es sich bei Doppelsternen generell um zwei verschiedene Arten von Sternen handelt. Sie fusionieren anders und haben damit auch ein anderes Ende. Es gibt daher zwei Arten von Weißen Zwergen. Die DB-Sterne haben keinen Wasserstoff an der Oberfläche und bei den DA-Sternen findet man ihn vor (14.17.)¹⁸².

Der DA-Stern entspricht dem Erststern oder einem Einzelstern und der DB-Stern ist der Zweitstern. Dieser hat einen Planetenkern. Weil dieser Planetenkern eine fusionsfreie Zone ist und sich daher sehr stark komprimiert, existiert außerhalb von ihm eine äußerst hohe Dichte des Wasserstoffs. Das optimiert die Fusionsprozesse im Zweitstern. Wird er später zum Weißen Zwerg, ist sein Wasserstoff völlig aufgebraucht.

Der Partner von Sirius ist von der Temperatur her ein A-Stern. Er weist aber Wasserstofflinien auf. Daher ist er unter den Weißen Zwergen ein DA-Stern. Er hat demnach an seiner Oberfläche Wasserstoff. Hinzu kommt noch etwas. Zweitsterne werden generell zur Nova oder zur Supernova. Damit wird die gesamte Hülle abgeblasen. Der Erststern oder der Einzelstern hat kein solches schnelles Ende.

3.4.2. Die Temperaturlücke der DB-Sterne

Zwischen 30000 und 45000 Kelvin findet man keine DB-Sterne (14.18.)¹⁸³. Die Ursache liegt in den WC-Sternen, die sich zur Supernova entwickeln und als Rest einen Pulsaren haben. Der Pulsar selber entsteht schon im WC-Stern. Durch die Supernova wird er nur freigelegt und bekommt sicher noch einen Impuls zur höheren Rotation. Es gibt sicher DB-Sterne die darüber liegen. Diese sind jedoch noch auf der Wanderschaft auf den Ast der Weißen Zwerge.

3.4.3. Pulsare und Doppelsterne

Pulsare sind Endstationen die nur bei ehemals massenreichen Doppelsternen vorkommen (5.94.)¹⁸⁴. Im gleichen Zuge gibt es auch äußerst selten Doppelpulsare (5.97.)¹⁸⁵. Gerade die zweite

¹⁸² James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Es gibt zwei Arten von Weißen Zwergen. Sie werden mit DA und DB bezeichnet. Der Typ A hat Wasserstoff-Linien und der Typ B hat keine. Diese beiden Typen verteilen sich unabhängig von der Temperatur. - S. 202 f,

¹⁸³ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Es existiert eine Lücke von DB Sternen, zwischen 30000° und 45000° Kelvin (von den O9 Sternen bis zu den O5 Sternen). In diesem Bereich sind keine DB Sterne aufzufinden. (Demnach müssen die WC-Sterne auch bei 30000 Kelvin beginnen.)

S. 204, 2. Absatz,

¹⁸⁴ Unter 1600 Pulsaren befinden sich drei Pulsare (RRATs), die sehr wahrscheinlich einem Einzelstern entspringen. Alle anderen entstanden in einem Doppelstern. - Sterne und Weltraum 6-2006 - S 20-21

Aussage spricht dafür, dass es sich in dieser zweiten Aussage kategorisch, um zwei Arten von Sterne handelt. Es bleibt die Frage, warum der Pulsar nur aus dem Zweitstern entstehen kann.

Sicher ist die Chandrasekhar-Grenze entscheidet, ob sich ein Weißer Zwerg oder ein Neutronenstern bildet (14.29.)¹⁸⁶. Der eigentliche Grund liegt aber darin, dass der Zweitstern mit dem Planetenkern in seinem Zentrum den fusionsfreien Raum liefert. Das ist ein völlig neues Bild. In diesem Raum wird je nach Masse entschieden, ob im Kern ein Weißer Zwerg oder ein Neutronenkern entsteht. Diese Entscheidung fällt nach dem Abschluss der Gasaufnahme eines Sternsystems, also in einer frühen Phase seiner Entwicklung. Der Erststern würde aus diesen Überlegungen keinen Pulsaren bilden, weil ihm dieser fusionsfreie Raum fehlt. Damit sind zwei Pulsare innerhalb eines Doppelsternsystems eine große Seltenheit.

Wäre nur Chandrasekhar-Grenze Ursache für das Entstehen von Pulsaren, müssten bei massenreichen Einzelsternen im ähnlichen Verhältnis Pulsare vorkommen, wie bei Doppelsternsystemen. Pulsare existieren jedoch bis auf wenige Ausnahmen nur in Doppelsternsystemen (5.94.)¹⁸⁷. Die Idee zur Planetenentstehung, die auch ein neues Bild der Doppelsternentstehung liefert, bietet damit ein schlüssiges Bild für die Entwicklung der Doppelsterne im Allgemeinen, aber auch für die Entwicklung heißer Doppelsterne, worin sich nur einer Pulsaren entwickeln kann.

¹⁸⁵ Unter 1800 Pulsaren in Doppelsternen existiert nur ein Doppelpulsar.

Sterne und Weltraum 10-2006 - S. 32 f

¹⁸⁶ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Wird der entartete Kern eines Sterns größer als 1,4 Sonnenmassen, überschreitet er die Chandrasekhar-Grenze und wird zum Neutronenstern.

S. 205

¹⁸⁷ Unter 1600 Pulsaren befinden sich drei Pulsare (RRATs)(0.2%), die sehr wahrscheinlich einem Einzelstern entspringen. Alle anderen entstanden in einem Doppelsternsystem.

Sterne und Weltraum 6-2006 - S 20+21

3.5. Die alten Sterngenerationen und Galaxien

3.5.1. Metallizität und alte Sterngenerationen

Betrachtet man die alten Sterngenerationen, also die Population II, so ist dort festzustellen, dass die Metallizität sehr schnell angestiegen ist. In der jüngeren Sterngeneration ist dagegen nur ein sehr leichter Anstieg zu vermerken. Die Metallizität hat sich in der Frühzeit innerhalb einer Milliarde Jahre verdoppelt. Danach hat es 10 Milliarden Jahre gedauert bis sich die schweren Elemente ein weiteres Mal verdoppelt haben. Zudem hatten die alten Galaxien die fünffache Leuchtkraft (5.41.)¹⁸⁸.

Alle Elemente oberhalb von Helium, zum Teil auch noch das Lithium müssen in Sternen entstanden und an nächste Sterngenerationen weitergegeben worden sein. Die Abgabe von Elementen erfolgt über sehr heiße Sterne. In der Population I gibt es jedoch sehr wenige heiße Sterne. Das würde nicht ausreichen, um solche Mengen von Gas auszuschütten und eine so schnelle Entwicklung erklären zu können. Die kühleren M-Sterne stellen 72 % aller Sterne dar. Die heißen und massenreichen Sterne, also die A-, B- und O-Sterne zusammen ergeben nur 1 % aller Sterne (10.16.)¹⁸⁹. Es gibt noch andere Angaben, wo der Anteil der M-Sterne sogar auf 90 % geschätzt wird, und diese 50 % der gesamten Masse aller Sterne ausmachen (10.34.)¹⁹⁰. Damit wäre der Anteil der heißen Sterne noch kleiner. Dieses Verhältnis kann bei früheren Sterngenerationen nicht so existiert haben. Die zentrale Frage ist dem zur Folge, wie es zu diesem Galopp der Entstehung der ersten Sterngenerationen gekommen ist.

Die Bestätigung für diese schnelle Entwicklung leitet man nicht nur von der Metallizität ab, sondern von der Größe der Galaxien im frühesten Universum. Diese Galaxien waren schon ganz zum Anfang des Universums äußerst groß, und es existierten massive Schwarze Löcher mit Milliarden Sonnenmassen. Dagegen stellt sich die Gleichmäßigkeit der Hintergrundstrahlung, die mit 2,73 K auf einigen Hunderttausendstel Kelvin genau ist (5.58.)¹⁹¹. Das Universum war am Anfang völlig gleichmäßig, und in aller Kürze müssen massive Galaxien entstanden sein.

¹⁸⁸ Junge Galaxien haben gegenüber den heutigen Galaxien die fünffache Leuchtkraft. Die Metallizität hat sich in der Urzeit innerhalb einer Milliarde Jahren verdoppelt und hat danach die 10-fache Zeit gebraucht um sich noch mal zu verdoppeln.

Sterne und Weltraum Spezial 1-2003 - S. 58

¹⁸⁹ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Häufigkeit der Spektralklassen, M-Sterne 72%, K-Sterne 14,9%, (Es fehlen 8% in der Gesamtsumme, und das könnte vom Betrages zu den G-Sternen passen.), F-Sterne 4%, A-Sterne 1%, B-Sterne 0,1% und die O-Sterne 0,000004 %. Die O-Sterne unter sich zeigen noch mal ein sehr starkes Gefälle in ihrer Häufigkeit.

S. 277

¹⁹⁰ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Unsere Galaxis besteht zu 90 % aus M-Zwergen. Sie machen 50 % der Masse aus. - S. 130, 4. Absatz

¹⁹¹ Genauigkeit der Hintergrundstrahlung

Sterne und Weltraum Spezial 1-2003 - S. 46

Die Antwort liegt in der Metallizität selber. Je geringer sie ist, umso ungestörter entwickeln sich Sterne. Da alle Körper in der Nähe eines Sterns entstehen und ein Teil in diesen stürzt und ihn damit bremst, so wird dieser Anteil mit abnehmender Metallizität immer kleiner. Die früheren Sterne haben schneller rotiert. Es existierten mehr heiße und massereiche Sterne. Zweitsterne existieren weniger und ihre Abstände waren mit abnehmender Metallizität größer. Damit wird die Kontrolle der heißen Sterne geschwächt. Der Anteil heißer Sterne und deren Häufigkeit nehmen daher zu den alten Generationen hin ständig zu.

Gehen wir diesen Gedanken bis zum Anfang weiter, so hätte eine erste Sterngeneration eine völlig ungebremschte Entwicklung. Es gab daher keine kühlen Sterne, sondern nur heiße Sterne in größtem Umfang. Die erste Generation ist damit auch in aller Kürze und vor allem, fast gleichzeitig vergangen. Insofern braucht man nicht einmal ins Universum hinaus zu schauen, sie können auf Grund dieser Überlegungen nicht mehr existieren (14.8.)¹⁹².

Unsere Frage nach dem schnellen Anstieg der Metallizität in den ersten 10 Milliarden Jahren des Universums hätte auf diese Art eine Antwort. Die hohe Produktionsrate schwerer Elemente liegt im Wandel des Verhältnisses zwischen kühlen und heißen Sternen. Die Häufigkeit heißer Sterne nimmt mit der abnehmenden Metallizität zu.

3.5.2. Sternverhalten und Metallizität

Kühlere Sterne der Magellanschen Wolke zeigen bei geringerer Metallizität innerhalb der Population I das Verhalten heißerer Sterne mit solarer Zusammensetzung. Das könnte der Hinweis sein, dass geringere Mengen schwerer Elemente in ihren Zentren vorhanden sind.

In der Population II zeigen kühlere Sterne nach dem Verlassen der Hauptreihe das Verhalten von heißeren Sternen. Sie wechseln zum Beispiel die Farbe und halten gleichzeitig die Leuchtkraft. Das wären im HRD waagerechte Bewegungen, die nur sehr heißen Sterne aus der Population I machen. Kühlere Sterne aus der Population II können das auch. So zeigen Sterne geringerer Masse aus der älteren Sterngeneration das Verhalten von massenreichen Sternen aus der jungen Generation.

Das gleiche Verhalten findet in der Population II auch auf der Hauptreihe statt. Die ältere Sterngeneration ist gegenüber der jüngeren zu den heißen Sternen versetzt. Im Bezug zu Population I leuchten diese Sterne der Population II heller. Das bedeutet, im Kern muss die Fusion bei ihnen schneller ablaufen.

In der Betrachtung von Population I und II, zeigt sich allgemein, dass alle Sterne der älteren Generation das Verhalten heißerer Sterne in der jungen vorweisen. Die Tendenz geht auch da zum heißen Stern.

Betrachtet man die Sterne der Population II untereinander, so findet man auch da die gleiche Tendenz. Die Sterne sind mit abnehmender Metallizität heißer. Das erkennt man auf dem Horizontalast. Mitten durch diesen Ast zieht sich der Instabilitätsstreifen. Zur rechten Seite des Astes liegen die kühleren Sterne und zur linken Seite die heißeren Sterne. Ist die Metallizität gering, so befinden sich mehr Sterne auf der linken, also der heißen Seite. Ist die Metallizität hoch, sind sie auf

¹⁹² James B. Kaler: „Sterne“, 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg

Zitat zur Population III. „Eine andere Möglichkeit wäre, dass zu Anfang Bedingungen vorherrschten, welche die Bildung von masseärmeren Sternen völlig ausschlossen.“

der anderen Seite (10.13.)¹⁹³. Das trifft zwar nicht in allen Fällen zu, aber die meisten verhalten sich nach diesem Prinzip.

Die periodisch veränderlichen Sterne, hier spreche ich von Cepheiden und den W-Virginis-Sternen haben ein ähnliches Verhalten. Sie unterscheiden sich nur in Masse und Leuchtkraft, und durch ihre Zugehörigkeit zu ihrer Population, was demnach auch mit der Metallizität zu tun hat. Die Metallizität kann in der Population II bis zu 200-mal geringer sein. Im gleichen Zuge wäre auch die Masse bei den W-Virginis-Sternen um das 10fache kleiner (10.35.)¹⁹⁴. Hier wären wir wieder bei dem gleichen Erklärungsmuster. Sterne geringer Masse in der Population II zeigen das Verhalten von Sternen höherer Masse in der Population I. Wegen der geringeren Menge schwerer Elemente im Kern zeigt die Population II ein ähnliches Verhalten, wie ihre massenreicheren Kollegen in Population I.

Auch im Vergleich der Kugelsternhaufen untereinander weist der Stern eine höhere Temperatur auf, wenn die Häufigkeit der schweren Elemente im Kern geringer wird.

Damit müsste es viel mehr heiße Sterne gegeben haben, wenn man in den Generationen zurück geht und damit zu Stufen geringer Metallizität gelangen.

3.5.3. Die Masse der Galaxien und die Metallizität

Der Bulge M31 (Andromedanebel) hat wesentlich mehr Masse als der unserer Milchstraße (5.45.)¹⁹⁵. Die Kugelhaufen sind passend zu dieser größeren Masse sehr viel zahlreicher. Es ist jedoch so, dass die Geschwindigkeit der Begleitgalaxien von M31 geringer ist als die Geschwindigkeit der Begleiter unserer Milchstraße. Damit müsste unsere Galaxie in ihrem Halo mehr Masse versteckt haben. Die Metallizität der Sterne ist in der Milchstraße jedoch geringer. Das könnte zu dem Schluss führen, dass die Häufigkeit heißer und schon vergangener Sterne im Bezug zu den kühleren Sternen bei geringerer Metallizität höher sein könnte. Trotz des kleineren Bulges und der geringeren Zahl an Kugelhaufen hätte unsere Galaxie mehr Masse als M31.

Ein weiteres Beispiel für diese These findet sich bei den Elliptischen Galaxien. Bei den neueren Untersuchungen zu diesen alten Galaxien stellt man fest, dass die Bewegung der Körper um das Zentrum der Galaxie nach außen hin abnimmt (5.99.)¹⁹⁶. Das bedeutet, Elliptische Galaxien haben

¹⁹³ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“, Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Der Horizontalast der Kugelsternhaufen. Der Horizontalast ist umso blauer, also heißer, je geringer die Metallizität des Kugelsternhaufens ist. Ausnahmen sind M13 und NGC 7006. Sie haben gleiche Metallizität, bei 3% des solaren Wertes, und sind symmetrisch oder haben einen roten Horizontalast. Der Standard wäre ein blauer Horizontalast, wie ihn M3 hat. S. 224 f

¹⁹⁴ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“, Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die W-Virginis-Sterne haben gegenüber der Cepheiden nur ein 10tel der Masse und entstammen der Population II, zeigen aber ein ähnlich periodisches Verhalten.

S. 198

¹⁹⁵ Die Begleitgalaxien der Milchstraße zeigen eine höhere Geschwindigkeit als die von M 31, obwohl M 31 mehr Kugelsternhaufen und einen größeren Bulge besitzen.

Sterne und Weltraum 10-2003 - S. 42

¹⁹⁶ In Elliptischen Galaxien nimmt die Masse nach neueren Untersuchungen zu den äußeren Regionen hin ab.

Sterne und Weltraum 10-2006 - S. 28

im Außenbereich weniger Masse, und sie hätten damit einen grundsätzlich anderen Aufbau als Spiralgalaxien. Bei Spiralgalaxien verlagert sich demnach die Masse nach außen hin und bei Elliptischen Galaxien verlagert sie sich nach innen.

Die Elliptischen Galaxien nehmen zum Zentrum hin an Metallizität ab (5.65.)¹⁹⁷. So scheinen hohe Masse in Galaxien an die geringe Metallizität gebunden zu sein. Je geringer die Metallizität, umso höher wäre die Quote schon vergangener massenreicher Sterne. Das würde dem Bild Recht geben, dass mit abnehmender Metallizität die Häufigkeit massenreicher vergangener Sterne viel höher ist.

3.5.4. Metallizität und frühere Sterngenerationen

Bei geringerer Metallizität ist die Menge schwerer Elemente in den Sternen geringer. Die Kerne schwerer Elemente wären in diesen Sternen kleiner. Damit tendieren alle zu höheren Temperaturen, genau so wie wir es vorfinden. Das Wichtige liegt darin, dass die schweren Elemente die Sternentwicklung grundlegend steuern. Sie sorgen dafür, dass so viele kühle Sterne existieren. Nimmt die Metallizität ab, wird die Entwicklung der Sterne weniger gebremst und das Verhältnis verändert sich. Es existieren damit mehr heiße Sterne. Genauso entwickeln sich die Sterne viel ungehemmter. Es entstehen mehr Sterne. Das bedeutet, mit abnehmender Metallizität müssten die Kugelsternhaufen insgesamt mehr Sterne haben. Dazu kommt der ständig steigende Anteil heißer Sterne, die alle vergangen sind. Der Anteil unsichtbarer Masse steigt bei den Kugelsternhaufen mit abnehmender Metallizität. Da es sich um eine große Zahl von alten Einzelsternen handelt, sind ihre Massen kaum mehr erkennbar.

Die Metallizität der Kugelsternhaufen ist in den zentralen elliptischen Galaxien reicher Haufen am geringsten (5.65.). Damit kann nur in ihrer Zentralgalaxie, als Beispiel wäre da die zentrale Galaxie M87 im Virgo-Galaxienhaufen aufzuführen, die erste Sterngeneration im Kern der Galaxie existiert haben. Sie ist Teil dieses Supermassiven Schwarzen Lochs (13.14.)¹⁹⁸. Sie hat die nächsten Generationen ausgelöst, und bildete später die supermassiven Schwarzen Löcher. Dieses unterscheidet sich von den anderen Galaxien durch die besondere hohe Masse des Schwarzen Loches.

Ziehen wir den Vergleich zu den offenen Sternhaufen der Population I, so können sie nicht zusammen halten, weil ihre gesamte Gravitation zu klein ist. Bei den Kugelsternhaufen ist die Menge so groß, dass sie zusammen bleiben. In der ersten Sterngeneration ist die Masse so groß, dass die Kugelsternhaufen zusammen bleiben. Hier kommt noch hinzu, dass Sterne in ihrer Entstehung von einer Gasscheibe umgeben sind. Das schützt sie davor, dass sie mit anderen Sternen zusammen stoßen. Ist die Entwicklung abgeschlossen sind alle Sterne in einem Bewegungsgleichgewicht. So fallen im Kern von Kugelsternhaufen die Sterne nicht zu einem Körper zusammen.

¹⁹⁷ Die roten Galaxien erscheinen überwiegend in Gruppen und Haufen. In solchen Haufen scheint die Sternbildung am weitesten fortgeschritten zu sein, und offenbar kollabierte dort die kosmische Materie am schnellsten. Noch heute finden sich im Lokalen Universum die ältesten Sternpopulationen in den Elliptischen Galaxien im Zentrum reicher Haufen.

Sterne und Weltraum Spezial 1-2003 - S. 67

¹⁹⁸ Erik Wischnewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Das supermassive schwarze Loch wird im Zentrum der Milchstraße auf 6 Millionen Sonnenmassen geschätzt. Bei der Galaxie M 87 (Virgo) geht man von 10 Milliarden Sonnen aus.

3.5.5. Wesentliche Strukturen bei der Galaxiebildung

Es bleibt nun die Frage, wie Galaxien entstehen. Diese Frage gehört eigentlich nicht zum Thema, soll aber aufgrund des Zusammenhangs kurz besprochen werden. Was ist an den wesentlichen Strukturen der Galaxien zu erkennen?

Die wesentlichen Strukturen bestehen bei großen Galaxien aus einem Supermassivem Schwarzen Loch, einem Bulge und einem Halo. In der Größenordnung gibt es zwei Typen von Galaxien. Die Elliptischen Galaxien und die Spiralgalaxien. Beide haben den Grundaufbau und Spiralgalaxien haben nur zusätzlich Spiralarme und treten vorwiegend in kleinen Gruppen von Galaxien auf. Kleine Irreguläre Galaxien haben diese Strukturen nicht.

Aus meinen Überlegungen entstehen im Universum als erstes nur Sterne. Diese ziehen sich zu Kugelsternhaufen zusammen. Zwangsläufig bilden sie so die ersten Gravitationszentren. Diese ziehen sich gegenseitig an. Kommen mehrere Kugelhaufen zusammen, fallen sie zum Schwarzen Loch zusammen, weil die Anziehungskraft noch gering ist. Dadurch, dass Kugelsternhaufen zusammen kommen, wird ihr Gravitationsgleichgewicht zerstört. Das bedeutet, bevor die Galaxie als Ganzes entstanden ist, bilden sich schon Supermassive Schwarze Löcher (5.36.)¹⁹⁹.

Dadurch, dass die Masse dieses Zentrums wächst, bekommen die nächsten Kugelsternhaufen durch die größere Gravitation mehr Schwung und bilden den Bulge. Damit steigt die Masse noch mehr, und die nächsten eingefangenen Kugelsternhaufen bilden den Halo. Mit zunehmender Masse wird der Einfangradius größer. Da die Kugelsternhaufen aus allen Richtungen kommen, drehen sie sich in allen Richtungen um das Zentrum (13.16.)²⁰⁰.

Wenn der Bulge abgeschlossen ist, ist das supermassive Loch so groß, dass es seinerseits Gase anzuziehen beginnt. In dieser Phase des aktiven Kerns nimmt die Masse schneller zu, weil zusätzlich Gase angezogen werden. Es werden weiterhin kontinuierlich Kugelsternhaufen eingefangen. Dadurch, dass die Masse der Galaxie schneller heranwächst, werden über die schneller steigende Gravitation Kugelsternhaufen in größere Bahnen gelenkt. Hier ergibt sich ein ähnliches Phänomen wie beim Einfang von Monden. Auch da ist die Bahn eines Mondes größer, weil der Planet in der Zeit Masse gesammelt hat, während der Mond zu ihm treibt. Bei der Galaxie ist nur so, dass die Kugelsternhaufen aus allen Richtungen kommen und während der Zeit die Masse der Galaxie heranwächst. Der Halo einer Galaxie erklärt sich über die aktive Phase des Galaktischen Kerns, weil dieser Kern zusätzlich Gasmassen von außen anzieht.

Spiralgalaxien unterscheiden sich von den elliptischen Galaxien nur dadurch, dass sie von außen nach der aktiven Phase des Kern weiterhin Gase von außen aufnehmen. Das können sie nur deswegen, weil sie in kleinen Gruppen stehen. In diesen Gruppen ist genügend Gas da, was eine Galaxie anziehen kann. In großen Gruppen von Galaxien ist das komplette umliegende Gas aufgebraucht. Daher gibt es keine oder nur schwache Spiralarme bei diesen Galaxien.

Kleine irreguläre Galaxien haben eine sehr hohe Bewegungsdynamik. Sie hätten eigentlich von großen Galaxien eingefangen werden können. Es ist aber so gewesen, dass sich die Kugelsternhaufen

¹⁹⁹ SMM J02399-0136 ist eine massenreiche Galaxie mit $z=2,8$, was einem Alter von 11 Milliarden Jahren entspricht. Sie ist 2,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall entstanden, hat einer Rotation von 420 km/s, und einer Masse von 3 mal 10 hoch 11 Sonnenmassen. In seiner Masse dürfte sie kein Einzelfall sein.

Sterne und Weltraum 8-2003 - S. 19

²⁰⁰ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Kugelsternhaufen bewegen sich um eine Galaxie in allen Richtungen. Die Spiralarme einer Galaxie weisen nur eine Richtung auf.

S. 209

gegenseitig einfangen. Durch die starke anfängliche Bewegung haben sie kein Supermassives Schwarzes Loch und es fehlt ihnen die typische Struktur einer großen Galaxie.

3.5.6. Balken und Spiralarme in Galaxien

Es ist die Frage warum diese drei Arten von Galaxien entstehen? Man könnte auch die Frage stellen, warum sich die Spiralarme immer stärker bilden. Die elliptischen Galaxien entstehen in großen Haufen und brauchen das Gas auf, was sich um ihnen befindet. Sie können damit keine Gase aufnehmen und Spiralarme bilden. Befinden sich Galaxien am Rande großer Haufen oder in den Bändern kleiner Galaxiegruppen können sie Gase aus den Räumen anziehen, die nicht in dem Entstehungsgebiet von Galaxien liegen.

Woher kommt die Bewegungsdynamik? Galaxien entwickeln sich von verschiedenen Zentren aus. Das wäre in unserer Nähe der Virgo-Haufen. Je weiter man sich von dem Zentrum Galaxienhaufens entfernt, umso höher ist die Bewegung der Kugelsternhaufen gewesen. Das erreichen sie auch eine höhere Eigenbewegung.

Das Zentrum setzt alle Kugelsternhaufen in Bewegung. Es wird selbst immer größer und damit nimmt die Bewegung der Kugelsternhaufen zu je weiter sie von diesem Zentrum weg liegen. So haben die entfernten Galaxien, wie die Spiralgalaxien eine höhere Dynamik als die elliptischen Galaxien. Die irregulären Galaxien werden als letztes Gebildet und haben die größte Bewegungsdynamik.

3.5.7. Große Galaxiestrukturen

Die Galaxien als einzelne Strukturen sind hiermit besprochen. Es geht aber auch darum, wie es dazu kommt, dass große Galaxienhaufen entstehen und sich weiterhin Galaxien in Bändern durch das Universum ziehen. Wie kommen solche großen Strukturen zu Stande?

Die ersten Sterne entstehen in ganz bestimmten Punkten des Universums. Das sind heute die Zentralgalaxien der größten Galaxienhaufen. Von dort aus pflanzt sich die Sternentstehung massiv fort und alle Sterne entstehen, die man der Population II zuschreibt. Demnach sind alle Sterne, die später zu Kugelsternhaufen werden vorher einzelne Sterne gewesen.

Sterne selber lösen mit dem Entstehen einen Effekt aus den man als Schleuseneffekt bezeichnen könnte. In einer Schleuse läuft das Wasser ein und hebt ein Schiff. In dem Moment setzt es im Fluss eine Strömung frei, die weit wirkt. Genau diesen Effekt gibt es bei der Bildung von Sternen. Sterne komprimieren das Gas, wenn sie entstehen. Das führt zu einer Strömung des Gases, die weit wirkt.

Da mit der ersten Sternengeneration und den direkt danach folgenden Generation der Population II Abermilliarden von Sterne entstehen, setzen sie diesen Fluss von Gasen frei. Der Fluss der Gase löst größte Strömungen aus. Diese Ströme sind die Bänder in denen wir heute die Galaxien finden.

Die erste Sternentstehung im Universum und die Strömung der Gase, die durch den Schleuseneffekt auftreten, sind die Ursache für die großen Strukturen. Die Ausgangsorte sind die Zentren der großen Galaxienhaufen.

3.5.8. Die Entstehungsfront der frühen Sterne im Universum

Die Entwicklung der frühen Sterne entspricht einer Welle die sich fortpflanzt. In der vordersten Front werden Gase durch den Schleuseneffekt angezogen. In der zweiten Linie bilden sich Sterne. Hier dehnt sich die Front aus. In der dritten Linie ziehen sich die Sterne zusammen und bilden mit einer bestimmten Masse Zellen. Diese führen zu leeren Räumen zwischen den Zellen.

In der vierten Linie ziehen sich wiederum die Zellen zusammen und bilden die Kerne von Galaxien. Damit kann man jede Phase der Bildung von Galaxien in bestimmten Linien der Entstehungsfront aufteilen. Es gibt eine innere Front, wo die Bildung der Galaxien abgeschlossen ist.

Da die gesamte Front aber weiter wandert, wird die Bewegungsgeschwindigkeit der einzelnen Elemente im Bezug zum Zentrum größer. Damit verändert sich auch die Struktur der Galaxien. Die unterschiedlichen Arten entsprechen Faktoren der Dynamik. Die Dynamik steigt mit dem Abstand vom Entstehungszentrum der ersten Sterngenerationen, also der Kugelsternhaufen.

Die Front setzt sich aber nicht kugelförmig fort sondern beginnt nach anfänglicher Kugelförmigkeit sich in großen Strömen fortzusetzen. Damit wird die Front kleiner, weil die Strömung ausgelöst durch diesen Schleuseneffekt kleiner wird. Das wiederum hat etwas damit zu tun, dass nur am Anfang eine ungeheure Sternentstehungsrate vorliegt. Das macht die kugelförmige Ausdehnung möglich. In einer späteren Phase wächst die Metallizität der Sterne und das führt zu einer Minderung der Sternentstehung. Die Dynamik der Sternentstehung nimmt ab. Damit wird die Front auch kleiner. Vom Zentrum großer Galaxienhaufen nimmt demnach die Metallizität der Sterne in den Kugelsternhaufen ab.

In den Bändern, wo sich nur noch kleine Gruppen von Galaxien bilden, ändert sich nicht nur die Art der Galaxien sondern auch die Metallizität der Kugelsternhaufen nimmt ab. Damit kann man auch sagen, die Zellen mit dem Abstand vom Entstehungszentrum kleiner werden.

Das heißt, mit zunehmendem Abstand vom Zentrum erreicht man irgendwann eine untere Grenze der Zellenbildung. Damit ist die Metallizität der Sterne zu hoch geworden und die Produktion der Sterne zu klein, um noch Kugelsternhaufen zu bilden. Werden keine Zellen mehr produziert, können auch keine Galaxien mehr entstehen. Das heißt, die Dynamik der Sternbewegung nimmt mit dem Abstand vom Zentrum zwar zu, aber die Sternentstehungsrate wird zu klein, um noch Kugelsternhaufen zu produzieren. Insgesamt nimmt die Bewegungsgeschwindigkeit der Front ab. Trotzdem wird die Bewegung der Körper vom Zentrum weg größer.

Die letzten Kugelsternhaufen haben eine extrem hohe Bewegungsdynamik. Diese ist auch zu groß, um Galaxiezentren zu bilden, die ein Supermassives Schwarzes Loch enthalten, wie bei Elliptischen Galaxien und Spiralgalaxien.

3.5.9. Metallizität und Kugelsternhaufen

Es muss zwischen den Zellen einen Austausch an Gasen gegeben haben. Eine Zellengeneration muss an die nächste Generation von Zellen Gase weiter geben, die sie erbrütet haben, denn nur so steigt die Metallizität der einzelnen Kugelhaufen. Die massenreichsten Sterne der Kugelsternhaufen vergehen sehr schnell und geben daher sehr früh wieder Gase mit frisch erbrüteten schweren Elementen ab. Nur so kann man erklären, dass von den Zentren der ersten Sternentstehung im Universum die Metallizität nach außen hin zunimmt.

Der wichtige Effekt der dafür sorgt, dass die Metallizität der Kugelsternhaufen steigt, liegt im Schleuseneffekt. Dieser wirkt nicht nur in der Entstehungslinie der Sterne nach vorne sondern er wirkt auch nach hinten. Das bedeutet, er holt sich auch das Gas von Sternen, die gerade die Entstehung abgeschlossen haben und schon dabei sind über die Sonnenwind Gase abzugeben. Sie haben schon erste Elemente erbrütet und diese werden für die neuen Entstehungsprozesse verwertet.

Wenn man von einem Austausch zwischen den Zellen redet, so wäre damit ein einseitiger Austausch gemeint, denn nur die etwas älteren Zellen geben an die neue Sterne Gase ab und nicht umgekehrt.

In der weiteren Entwicklung bleiben die Kugelsternhaufen für sich und erbrüten keine weiteren Generationen von Sternen. Sie geben im Laufe ihres Alters aber immer mehr Gase ab, die den Raum mit schweren Elementen anreichern.

Wenn Kugelsternhaufen in den Bulgen einer Galaxie gelangen, findet eine kürzere Folge von Sternentstehungen statt. Das abgegebene Gas alter Sterne wird hier viel eher beim Entstehen von Sternen verwendet. Im Bulgen findet man dann gleich mehrere Generationen von Sternen, deren

Metallizität steigt. Weil es diesen regen Austausch gibt, findet man auch in den inneren Spiralarmen einer Spiralgalaxie eine höhere Metallizität. Die Metallizität hat einmal etwas mit der Sterndichte zu tun, aber auch zum anderen damit, dass Gase aus den äußeren Regionen in das Zentrum der Galaxien geführt werden.

3.5.10. Massenbestimmungen im Universum

Nach der Erklärung der großräumigen Entwicklungen im Universum, sei die Frage noch mal auf die vorhandenen Massen im Universum gelenkt. Der größte Teil der Masse ist also nicht visuell über die Leuchtkraft zu erkennen. Er ist nur über Bewegung von Galaxien und über Gravitationslinsen zu erkennen.

Wenn man aus dieser gesamten Abhandlung zu dem Gedanken gelangt, die Körper um einen Stern entstehen durch Kondensation und wandern von dort aus von ihm weg, so ist ein größerer Teil bei der Entwicklung in den Stern stürzt. Damit wird die Fusion eines Sternes nicht nur aus seiner Masse bestimmt, sondern von dem Anteil schwerer Elemente. Besonders bei den kühlen Sternen dürfte der Anteil schwerer Elemente im Kern sehr hoch sein. Die Massenbestimmung ohne den Anteil schwerer Elemente kommt auf eine sehr viel geringere Masse, als mit einem solchen Anteil. Da die kühlen Sterne den größten Anteil ausmachen, liegt darin einer der großen Messfehler bei der Bestimmung ihrer Massen.

Dazu addiert sich der Messfehler in Mehrfachsternsystemen, in denen der zweite Stern und alle weiteren Sterne in seiner Nähe aus einem Planeten entstanden sind. Auch da wären die Massenbestimmungen einfach falsch, weil der Zweitstern gegenüber dem ersten Stern die geringere Leuchtkraft hat.

Ein weiteres Problem der Massenbestimmung liegt in der geringen Metallizität der Kugelsternhaufen. Mit abnehmender Metallizität wird der Anteil heißer Sterne immer größer. Hier hat man es mit Verhältnissen zu tun, wo die Metallizität nur einem 200stel des solaren Wertes entspricht. Bei Kugelsternhaufen mit einem solch geringen Anteil ist der „Bremseffekt“ der Sterne sehr gering. Damit dürfte der vorwiegende Teil der Sterne einmal massenreiche Sterne gewesen sein. Auf diese Weise würde sich auch der überproportionale Anteil an Röntgenstrahlung innerhalb der Kugelsternhaufen erklären, der dafür sprechen könnte, dass dort große Massen vergangener Sterne existieren (22.7.)²⁰¹. Diese Röntgenstrahlung lässt sich mittlerweile näher lokalisieren. Dabei kommt man zu dem Schluss, dass es Doppelsterne sind, bei denen der eine Teil ein Weißer Zwerg ist.

Die Milchstraße und auch andere Spiralgalaxien weisen zu den äußeren Regionen hin eine abnehmende Metallizität vor. Bei den Elliptischen Galaxien scheint es nach neuesten Untersuchungen umgekehrt zu sein, und die Masse nimmt zum Zentrum zu (5.99.)²⁰². Demnach ist die fehlende Masse an die Metallizität gebunden. Hier könnte ein direkter Zusammenhang zwischen der abnehmenden Metallizität und dem steigenden Anteil fehlender Massen existieren.

Spiralgalaxien haben einen hohen Drehimpuls. Sie haben über die Milliarden Jahre mit ihren Spiralarmen große Mengen an Gase angezogen. Im gleichen Zuge haben sie genau wie bei der Planetenentstehung Sterne vom Zentrum nach außen treiben lassen. Bei den Planetensystemen sind die äußersten Körper die ältesten und nicht anders verhält es sich bei den Spiralgalaxien. Daher wird es in den äußeren Regionen auch die meisten vergangenen Sterne geben.

²⁰¹ Kugelsternhaufen weisen einen überproportional hohen Anteil an Röntgenquellen auf.

Spektrum der Wissenschaft, 1-2003 - S. 30

²⁰² In Elliptischen Galaxien nimmt die Masse nach neueren Untersuchungen zu den äußeren Regionen hin ab.

Sterne und Weltraum, 10-2006 - S. 28

3.6. Zusammenfassung zur Entwicklung von Sternen

3.6.1. Grundsätzliche Prinzipien der Sternbildung ohne Planetenentstehung

Unabhängig von der Planetenentstehung ist die Entstehung der Sterne von der Strömung des Gases abhängig und dem vom Stern erzeugten Sonnenwind. Der Sonnenwind wird mit der Sternmasse größer. Die Rotation des Gases hat nach oben hin eine Grenze. Sie erzeugt eine Abplattung der Gasscheibe, die den Stern umschließt. Dieser sichert die Gasaufnahme so lange der Sonnenwind nicht zu stark wird.

3.6.2. Steuerungsprinzip und der Mechanismen zur Sternentwicklung

Als nächstes muss man die Planetenentstehung innerhalb dieser Gasströmung betrachten. Der wichtigste Gedanke liegt darin, dass die Entstehung von Planetensystemen die Entwicklung der Sterne allgemein steuert. Da die Entstehung von der Kondensation abhängig ist, ist die Steuerung an die Temperatur des Sterns gebunden. Die Steuerung wirkt nur in einem bestimmten Temperaturbereich des Sterns. Darüber hinaus trennt sie sich vom Stern.

Der Mechanismus wird durch Körper ausgelöst, die in der Nähe des Sterns entstehen und eine Gasscheibe durchdringen müssen. Diese Körper rotieren, weil sie die Gasscheibe durchdringen und erzeugen damit Magnetfelder, wenn nun diese Körper abstürzen, verstärken sich die Magnetfelder in tieferen Schichten des Sterns, weil er metallische Eigenschaften besitzt. Erschwerend kommt hinzu, dass Eisennickel, wegen der hohen Kondensationsstufe in der Nähe des Sterns kondensiert. Da diese selber abstürzen oder von Hochtemperaturkondensaten aus Gestein mitgenommen werden, sind besonders gute magnetische Eigenschaften vorgegeben.

Die Gasaufnahme des Sterns reguliert sich über seine Rotation. Diese sorgt für die Abplattung der Gasscheibe. Sie verdichtet sich bei höherer Rotation auf der Rotationsebene und sorgt so für, dass in ihr der Sonnenwind keinen Einfluss hat. Unterhalb einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit bricht die Gasscheibe zusammen (Reynolds-Zahl).

Bei kühlen Sternen begrenzt seine Entwicklung der Verlust seiner Rotation. Damit verbundene ist der Zusammenbruch der Gasscheibe. Bei hohen Sterntemperaturen bleibt die Rotation des Sterns erhalten und damit auch die Gasscheibe. Begrenzt wird die Entwicklung durch den immer stärker werdenden Sonnenwind. Dieser Mechanismus sorgt dafür, dass in der gegenwärtigen Sterngeneration der größte Teil der Sterne geringer Temperatur ist.

Dieses Verhältnis von kühlen und heißen Sterne ändert sich mit der Metallizität. Das bedeutet, in den früheren Sternenerationen ist der Anteil schwerer Metalle geringer gewesen. Damit sind Sterne ungebremst entstanden, weil weniger Planetensysteme entstehen konnten und weniger Material in den Stern fiel. Der Anteil kühler Sterne wird geringer und der Anteil heißer Sterne größer. Zudem entstehen mehr Sterne, wenn die Metallizität abnimmt.

3.6.3. Sternenerationen

Es müssen zwei Kategorien der Sternentstehung unterschieden werden. Die Population I entsteht in Spiralarmen von Galaxien und in irregulären Galaxien. Sie bilden sich, weil sich Gase auf das Zentrum hinbewegen.

Die Population II ist eine alte Sterneneration. Sie entstehen aus dem Gas des Universums zu Kugelsternhaufen. Kugelsternhaufen bilden die ersten Gravitationszentren und ziehen sich gegenseitig an. Auf diese Weise entstehen Galaxien. Die Kugelsternhaufen selber sind die Ursache für das

Entstehen von Galaxien. Erst mit dem Entstehen des Schwarzen Loches im Zentrum einer Galaxie können sich Spiralarme bilden. Diese Galaxiezentren sind demnach die Ursache für alle Stufen der Population I.

3.6.4. Prinzip der Doppelsternentstehung

Außer dem Erststern entstehen in Doppelstern- und Mehrfachsternsysteme alle weiteren Sterne aus Planeten.

Man unterscheidet zwei wesentliche Typen. Der Neptuntyp ist ein entfernter Doppelstern und der Jupitertyp ist ein naher Doppelstern. Der Neptuntyp wird zum Stern, weil er heraus wandert und Kleinplaneten einfängt. Damit gewinnt er an Dichte und innere Gasplaneten nähern sich ihm. Das kann dazu führen, dass er einen Gasplaneten wie Uranus einfängt und ihm das Mondsystem nimmt. Dabei entsteht ein großes System in dem sich auch zwei Sterne bilden können.

Der Jupitertyp bleibt in Sternnähe, weil er einen Eisenkern hat und nicht von der T-Taurikrise eines Sterns getroffen wird. Damit erreicht er frühzeitig eine Dichte mit der er sich nicht mehr vom Stern entfernt. Er sammelt damit alle Körper ein, die sich im inneren Bereich bilden. Diese Massenzunahme führt zur Entwicklung eines Sterns aus einem Planeten. Der Sonnenkrise eines Sterns kann verhindern, dass Jupiter zum Stern wird.

Bei höheren Temperaturen, also in Instabilitätsstreifen, geht die Entwicklung des Sterns weiter, auch ein Jupiter sich in eine entferntere Position zum Stern bewegt. Er wird auch da zum Stern.

Weil Jupiter seine Position verlassen hat, rückt ein anderer Planet in diese alte Position hinein und kann sich ebenfalls zum Stern entwickeln. In meinen Betrachtungen nenne ich ihn den Erdtyp. Im Instabilitätsstreifen hat man es daher oft mit Dreifachsystemen zu tun.

Oberhalb der Instabilitätsstreifens hat der Erststern keine Krise und es entwickelt sich nur ein Jupiter. Dieser entwickelt eine größerer Masse als bei kühleren Sternen. In diesem oberen Temperaturbereich findet man in diesem Bereich eher Doppelsysteme.

Alle Zweitsterne haben demnach einen Planetenkern.

Beim Neptuntyp ist es ein Planet mit Gesteinskern. Der Jupitertyp hat einen Kern aus Eisen und Gestein. Alle Kerne sind zudem von großen Mengen Wasser umgeben.

Im Instabilitätsstreifen zündet der Jupitertyp mit dem Wassermantel zur Nova. Der Erdtyp zündet zur Zwergnova nachdem er ein Weißer Zwerg geworden ist und er vom Nachbarstern Gase abgezogen hat.

Oberhalb des Instabilitätsstreifens fällt der Planetenkern zur Dichte eines Weißen Zwerges zusammen fällt, - das wäre ein WN-Stern, - oder er fällt zur Dichte eines Neutronensterns im Kern zusammen. Damit hätten wir einen WC-Stern. Nur diese Wolf-Rayet-Sterne, von denen ich annehme, sie sind nur Doppelsterne entwickeln sich zur Supernova.

Demnach entstehen Pulsare, Nova und Supernova immer in Mehrfachsternsystemen aus dem Zweitstern, der einen Planetenkern besitzt.

3.6.5. Prinzipien der Sternsteuerung durch Doppelsternen

Die wesentlichen Aussagen der Planetenentstehung der Sternentwicklung liegen darin, dass die Körper, die in den Stern stürzen und über Magnetfelder den Stern in der Rotation bremsen. Schon in der frühen Phase wird ihm daher die Rotation genommen, und daher entwickeln sich weniger heiße Sterne.

Der zweite Stern im Doppelsternsystem, der aus einem Planeten entsteht, bremst den ersten Sterns. Seine geringe Rotation steuert demnach auch die Entwicklung des ersten Sterns. Der Erststern kann dadurch nicht zu einem massiven Stern werden. Auf diese Weise wird die Gesamtdynamik in

einem entstehenden Sternhaufen gebremst. Je höher die gesamte Rotation aller Sterne ist, umso mehr Gase werden angezogen, und umso mehr Sterne können entstehen. Zu den alten Sterngenerationen hin hat das eine besondere Bedeutung. Bei geringerer Metallizität entstehen weniger Doppelsterne, und dadurch können sich viel mehr heiße Sterne bilden.

Bei den kühlen Sternen kontrolliert die Planetenentstehung die Sternentwicklung. Sie bremst alle Sterne aus, die sich unter 6000 K befinden. Dieser Mechanismus sorgt dafür, dass der größte Teil der Sterne klein bleibt. Hier wird schon im Vorfeld, die gesamte Dynamik der Rotation aus dem Haufen genommen. Dadurch entstehen Sterne nur noch in kleinen Haufen. Der zweite Bremsfaktor liegt im Zweitstern.

Nimmt nun die Metallizität ab, werden all die Kontrollmechanismen gemindert, und es entstehen mehr Sterne und mehr heiße Sterne im Gegensatz zu den kühlen.

3.6.6. Metallizität und Häufigkeit schwerer Elemente im Universum

Metallizität ist das, was man an chemischen Zusammensetzungen an der Sternoberfläche misst. Das heißt, man misst nur an der Oberfläche eines Sterns, wie die Häufigkeit der Elemente, die der Stern selber produziert, gestiegen ist. Nur an dieser Oberfläche misst man, wie stark der Anstieg der Elemente über die Generationen der Sterne war. Dieses Bild der Entstehung, was hier von Sternen geliefert wird, würde jedoch bedeuten, dass Sterne erhebliche Mengen schwerer Elemente im Kern haben. Dazu kommt, dass Exoplaneten wohl keine Seltenheit sind. Alle Sterne haben Planetensysteme. Demnach ist die wirkliche Menge der schweren Elemente, die von Sternen produziert wurde sehr viel höher.

3.6.7. Das neue Klassifikationssystem

Bei dieser Beschreibung der Entwicklung von Sternen geht es nicht so sehr darum, dass man es mit zwei Arten von Sternen zu tun hat, von denen der eine aus einem Planeten entsteht und der andere nicht, sondern es geht kategorisch um ein völlig neues Klassifikationssystem nach dem man Sterne einteilt.

Erst dadurch, dass man über die Entstehung von Körpern um einen Stern entschlüsselt, kann man sagen, wie alle Sterne von innen aufgebaut sind. Das ist das Neue dieser Arbeit. Das HRD beschreibt nur die Oberfläche von Sternen. In dieser Arbeit findet man Auskunft Innere aller Sterne. Erst damit ist man in der Lage zuzusagen, wie sie sich verhalten.

4. Wissenschaftskritik und Analyse der eigenen Arbeit

4.1. Dimension der Idee

Betrachtet man die Idee im Bezug auf die Überlegungen der jetzigen Forschung, so käme sie einer großen Veränderung gleich. Diese Veränderung kann man in drei Aussagen beschreiben. Einmal ist es eine neue Idee über die Entstehung von Planetensystemen. Der zweite Gedanke liegt darin, dass die gesamte Entstehung der Körper in unmittelbarer Nähe des Sterns stattfindet und von dort aus die Entstehung des Sterns steuert. Der dritte Gedanke liegt darin, dass sich Planeten zu Sternen weiter entwickeln. Demnach wären alle Mehrfachsternsysteme in der zweiten oder dritten Position aus einem Planeten entstehen. Das bedeutet für die Sterne ein neues Klassifikationssystem. Die gesamte Idee, falls sie sich als richtig beweisen sollte, wäre demnach schon von fundamentaler Bedeutung, weil sie in diese drei Richtungen wirkt.

Die Idee zeigt eine recht klare Entschlüsselung von Phänomen im Sonnensystem. Die Lösung des Rotationsproblems mit der Drehung der Mondsysteme wird über die Strömung erklärt. Das Trennungsvorgang von Eisen und Gestein wird sehr klar beschrieben. Damit verbundene Entwicklungsstufen und Entwicklungsphasen mit entsprechenden Klassifizierungen von Körper werden klar beschrieben. Diese gehen sehr detailliert auf bestehende Strukturen ein.

Der zweite zentrale Gedanke liegt jedoch nicht so sehr in der Planetenentstehung, sondern der Auswirkung der Planetenentstehung auf die Sterne. Die äußeren Strukturen der Sterne, wie Konvektionszonen und Rotationsverhalten zeigen über die Temperatur und die Verteilung von Exoplaneten im Bezug auf die Sternmassen einen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Planeten und Sternen in ihren verschiedenen Entwicklungsständen.

4.2. Die besondere Bedeutung des Sonnensystems

Die Verteilung der Exoplaneten über die Sternmasse ist der direkteste Hinweis, dass sich Planeten zu Sternen entwickeln und damit Mehrfachsternsysteme entwickeln. Damit gelangt man zu einem ganz neuen Bild. Im Universum kommen daher zwei verschiedenen Arten von Sternen vor. Damit müsste ein neues Klassifikationssystem geschaffen werden, was sich nach dem Aufbau der Planetenkerne orientiert. Das einmal genau berechnen zu können, bedarf noch einer gewissen Zeit der Entwicklung. Jedoch ist hier schon der Rote Faden vorhanden, worum es sich bei den Mehrfachsystemen handeln müsste.

Da die Entschlüsselung des Sonnensystems die Antwort auf all diese Fragen zu den Mehrfachsternsystemen gibt, muss man einen ganz besonderen Wert auf die Entschlüsselung des Sonnensystems legen. In dieser Entschlüsselung liegt das A und O der gesamten Sternforschung. Die Betrachtungen in diesem Buch sind nur Gedanken, die zu einer Entschlüsselung führen, die aber eine ganz klare und neue Linie oder Richtung aufzeigen.

Es handelt sich hier nur um eine Entschlüsselung, die die Phasen der Entwicklung von Körpern beschreibt und auch schon auf die wirkenden Kräfte und deren Ursachen hinweist. Wie gesagt, ist es nur die Arbeit eines Denkers und Konstrukteurs, der diese Abläufe beschreibt. Dieser Ansatz einer Entschlüsselung kann der Physik nur übergeben werden, die es dann besser, genauer beschreibt und vor allem mathematisch berechnet. Die Arbeit selber ist demnach nichts weiter als eine geometrische Hilfe für die Physik. Da man aufgrund der geometrischen Fähigkeiten mehr sieht, muss man darauf hinweisen, was für die Physik im Bereich dieser Forschung wichtig ist.

Im nächsten Text geht es um die Frage, was die wesentlichen Bestandteile einer Untersuchung sind. Unter welchen Blickwinkel wird gedacht, und wie wird gedacht. Es wird dabei darauf hingewiesen, wo die Fehler in der Angabe von Daten liegen.

4.3. Analyse aus Bezugssystemen und der Logik

Der wesentliche Bestandteil bei Untersuchungen von Objekten liegt darin sie im Bezugssystem zu betrachten in dem sie sich befinden. In unserem Sonnensystem ist es die cirkum-stellare Scheibe, die das System während der Entstehung beherrscht hat. Diese Scheibe ist sozusagen der Fundort von allen Körpern im System. Aus dieser Beschreibung kann man für ein Objekt bestimmte Erklärungen finden.

Dieser Zusammenhang ist zum Beispiel für die Anthropologie außergewöhnlich wichtig, denn vom Fundort kann man genau herleiten, unter in welcher Zeit und unter welchen Umständen das Objekt entstanden ist. Einfach einen Knochen von einem bestimmten Ort wegzunehmen und ihn einem Anthropologen zu geben, käme einer Katastrophe gleich.

Überträgt man dies auf die Astronomie, so geht es zum Beispiel nicht nur darum festzustellen, dass man unter den Körpern im Asteroidengürtel Objekte findet, die aus Eisennickel bestehen. Man muss sie im Bezug zu anderen Körpern setzen, die sie umgeben. Dazu benötigt man die Bahnparameter, wie Abstand vom Stern, Exzentrizität und Inklination. Das Bezugssystem ist immer die Ekliptik und der Stern selbst. Dazu kommen noch die Eigenschaften des Körpers, wie seine Rotation.

Hier würde man zum Beispiel für Asteroiden der M-Klasse, also Körper aus Eisennickel feststellen, dass sie schneller rotiert als Gesteinskörper, die sich ebenfalls in der Region befinden und dass der Asteroid der M-Klasse gegenüber Gesteinskörpern eine geringere Inklination besitzt.

Betrachtet man nun die Sonne als Bezugssystem, so stellt man fest, dass auch sie zur Ekliptik hin eine höhere Rotation annimmt. Dieses Verhalten wird mit der differentiellen Rotation der Sonne beschrieben. Es existiert demnach ein Zusammenhang zwischen der Rotation der Sonne und der Rotation von Eisenkörper. Dieser Zusammenhang ist nur über die Inklination des Körpers verständlich die er vorweist.

Das Bezugssystem der cirkum-stellaren Scheibe wäre nun die Antwort auf die Frage der Rotation, einmal für den Stern und zum anderen für den Eisenkörper. Rotation erklärt sich einmal aus dem Bezugssystem und einer Logik. Über die Strömung eines Gases kann nun Rotation erklärt werden.

Die Basis, um nun verstehen zu können, wie sich Körper entwickeln ist eine richtige Angabe im Bezugssystem um einen Stern. Es ist nicht damit getan, die Klassen der Asteroiden nach ihrem Abstand zum Stern zu beschreiben, man muss zudem ihre Inklination angeben. Es geht demnach darum eine genaue Klassifikation des Körpers innerhalb seines Systems vorzunehmen. Hier kann man den ersten Fehler sehen, der in der Physik gemacht wird. Sie kommt dieser Sache nicht nach und analysiert nicht in der Richtung.

Der nächste Schritt wäre nun dieser, dass man feststellt, dass es einen Zusammenhang zwischen der Dichte eines Körpers und seiner Inklination existiert. Das kann man nur machen, wenn man die Daten entsprechend auswertet. Das wird nicht gemacht und ist eine Schwäche im wissenschaftlichen Arbeitsstil.

In dieser Arbeit wird beschrieben, wie groß die Bedeutung dieser Angaben ist. Ohne diese Angaben kann das Trennungverfahren von Eisennickel und Gestein über eine Strömung nicht gemacht erklärt werden. Vor allem kommt man gar nicht auf die Idee, dass die Dichte eines Körpers mit seiner Inklination zusammenhängt. Zum Schluss erkennt man, dass sie bei kleineren Körpern umgekehrt proportional zu diesem Winkel.

Hier zeigt sich, dass eine Entschlüsselung nur dann möglich ist, wenn eine klare Strukturanalyse im System vorgenommen wird. Diese ist ungenau. Wenn man das Sonnensystem entschlüsseln will, muss man in diesen Angaben präzise sein.

Die Ursache, warum das Sonnensystem nicht entschlüsselt wurde, liegt nicht daran, dass es so kompliziert ist, sondern es liegt daran, dass man ungenau arbeitet. Das schlimme ist aber etwas ganz anderes. Das zu erkennen ist keine große Leistung. Es bedarf nur eines genaueren Blickes, um zu sagen, da fehlt doch etwas.

4.4. Bemessungen von Bezugssystemen

Wenn man versuchen will, die Entstehung zu verstehen, geht es nicht nur um die Position eines Körpers und eines seiner Eigenschaften. Es müssen alle Eigenschaften eines Körpers in das Bezugssystem eingeordnet und genau benannt werden.

Ein Beispiel sind in diesem Zusammenhang Rotationsachsen und Magnetachsen von Planeten. Sie müssen einerseits im Bezug zueinander benannt werden. Das wird auch getan. Es wäre aber auch wichtig die Magnetachse im Bezug zur Ekliptik zu benennen. Damit setzt man sie in den Bezug zum ganzen System. Egal, was man sich davon verspricht, so sind solche Angaben wichtig, weil dahinter Zusammenhänge stecken, die man im Moment noch gar nicht versteht.

Die Magnetachsen und die Achsen der Rotation sind in der Regel für einen Körper nicht identisch. Saturn hat zum Beispiel eine Rotationsachse $26,7^\circ$ im Bezug zur Ekliptik. Die Magnetachse des Saturns weicht von der Rotationsachse um $0,8^\circ$ ab. Manche Angaben, sprechen auch von 1° . Damit endet die Aussage. Hier wäre der Anthropologe sprachlos, denn es geht aus diesen Angaben nicht hervor, wie der Winkel im Bezug zur Ekliptik ist. Der Physiker schafft mit dieser Angabe zwei Lösungen, von denen nur eine richtig sein kann

Den gleichen fehlerhaften Hinweis findet man bei der Magnetachse von Jupiter. Dort heißt es, die Magnetachse weicht im Bezug zum Zentrum von Jupiter um 18000 Kilometer ab (20.2.)²⁰³. Es folgt keine weitere Information. Auch hier hätte jeder Anthropologe die Hände über dem Kopf zusammengeschlagen, und sich gefragt, was das soll? Wenn Wissenschaftler darum bemüht wären ernstzunehmende Forschung zu betreiben, fragt man sich, warum man sie sich keine Mühe geben Daten richtig anzugeben.

Es ist davon auszugehen, dass die Erdachse gegenüber der Ekliptik langfristig schwankt. Damit wären auch Aussagen über die Magnetachse zur Ekliptik nicht sehr sinnvoll. Trotzdem können Magnetachsen im Bezug zur Ekliptik von wesentlicher Bedeutung sein, selbst wenn sie gewisse Fehler haben, weil sie das gesamte System im Bezug zur Sonne setzen und damit zu Lösungsansätzen für die Rotation von Körpern liefern. Man muss immer die circum-stellare Scheibe vor Augen haben, die einerseits die Sonne aber auch die Bildung der Planeten und deren Rotation beeinflusst. Es gibt zudem Zusammenhänge zwischen den Magnetachsen und den unterschiedlichen Arten der Kerne der Planeten. Zum Beispiel ist Jupiters Magnetachse und die der Magnetachse der Erde im Bezug zur Ekliptik sehr ähnlich. Die Erde hat einen Eisennickelkern, der Erdmond hat einen, die meisten regulären Monde des Jupiters bis auf Callisto haben einen Eisenkern. Daher könnte Jupiter selber auch einen haben. Diese kleinen Winkel der Magnetachsen bei Eisennickelkernen in Planeten stehen im Bezug zu Körper Eisennickel, die wiederum kleine Inklinationen haben. Wir haben schon festgestellt, dass Eisenkörper schneller rotieren als Gesteinskörper. Auch der Eisennickelkern der Erde rotiert schneller und unter einem kleineren Winkel im Bezug zur Ekliptik als der Silikatmantel. So ist er der Magnetachse angepasst und sicher Auslöser des Magnetfeldes.

Bezieht man die Magnetachsen auf die Ekliptik ist der Bezug zur circum-stellaren Scheibe hergestellt. Damit werden die Bedeutungen der Magnetfelder und die innere Zusammensetzung der anderen Gasplaneten verständlicher. Daher sind Angaben im Bezug zur Ekliptik erst einmal hilfreich. Um den letzten Gasplaneten noch mal als Beispiel anzuführen, so liegt seine Magnetachse bei $17,4^\circ$ gegenüber der Ekliptik. Der eventuelle Bezug der Inklination kleinerer Körper aus Eisennickel ist schon hergestellt. Bei Neptun scheint es der Zufall so zu wollen, dass seine Magnetachse der Inklination von Pluto sehr ähnlich ist. Er hat eine Inklination von $17,15^\circ$. Da sieht man mögliche Zusammenhänge deren Bedeutung man entschließen und feststellen kann, ob und wie diese

²⁰³ David Morrison: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Magnetfeldachsen der Gasplaneten Die Magnetfeldachse des Jupiters ist nach dieser Textquelle um $10,8^\circ$ geneigt. In mehreren anderen Quellen spricht man von $9,6^\circ$. Dazu findet man eine Angabe, dass das Magnetfeld Jupiters um 18000 Kilometer aus dem Mittelpunkt versetzt ist. Es wird nicht angegeben in welcher Richtung.

Zusammenhänge aussehen. Das wäre die Sicht des Anthropologen, der die einzelnen Positionen jedes Objektes vor Ort betrachtet. Erst damit kann er feststellen in welchem Zusammenhang sie stehen könnten.

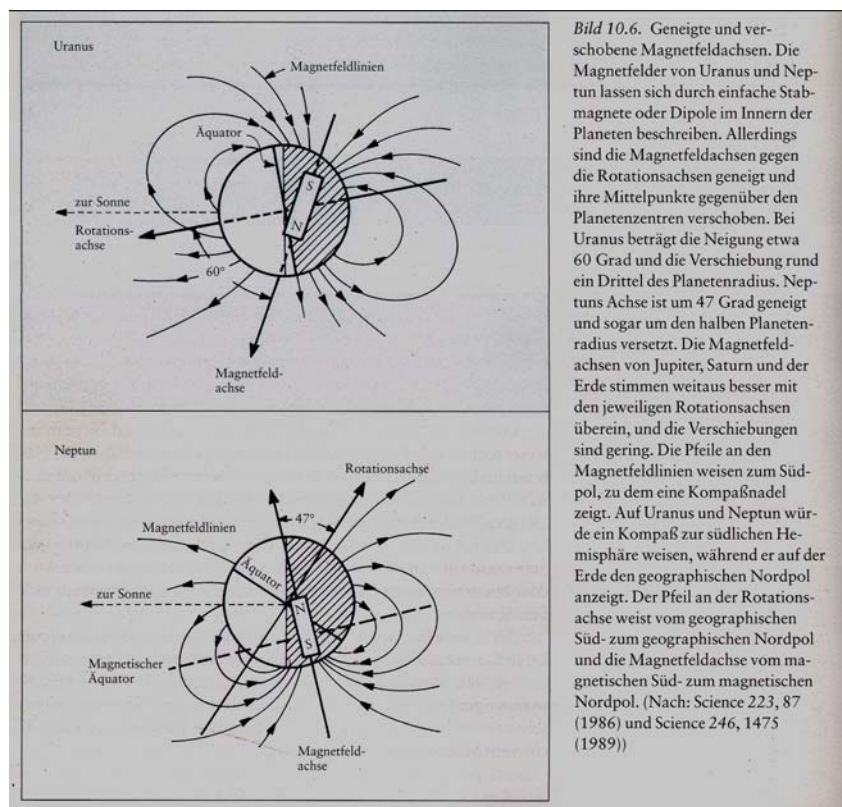
Der Grundgedanke dieser Überlegungen liegt einerseits darin ungenaue Angaben zu bemängeln, aber auch darin, wie in der Anthropologie immer in Bezugssystemen zu denken. Die erste Frage ist immer, wo befinden sich Körper im Bezug zur cirkum-stellaren Scheibe, die für die ganze Entwicklung ausschlaggebend ist.

In der Messgenauigkeit und im Bezugssystem auf dem Stern verhalten sich die Physiker äußerst nachlässig. In dem Sinne liegt das Problem nicht darin, dass die Daten im Sonnensystem zu versteckt liegen, und der Wissenschaftler sie nicht findet, sondern es werden ganz einfach Messungen ungenau durchgeführt.

4.5. Geometrisches Beispiel zum Bezugssystem

Hier werden noch einmal zwei Zeichnungen betrachtet, die die Rotationsachsen und Magnetachsen zweier Gasplaneten beschreiben.

Aus dem Ablauf der Entwicklung ist klar, dass Mondsysteme gedreht worden sind. Dabei wird das System erst einmal in die Ekliptik gedreht und dann in die Senkrechte zur Ekliptik. Systeme im inneren Sonnensystem sind noch kaum entwickelt. Systeme in der Mitte sind entwickelt und schwach gedreht und äußere Systeme, wie zum Beispiel Uranus oder Pluto sind stark gedreht. Darin kann man auch einen Entwicklungsverlauf erkennen.



Grafik 25: Magnetachsen von Uranus und Neptun (7.1.)²⁰⁴

²⁰⁴ Prof. Kenneth R. Lang, Prof. Charles A. Whitney: „Planeten - Wanderer im All“ Cambridge University Press 1991

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Magnetfeldachse und die Rotationsachsen von Neptun (siehe Grafik 25). Der Bewegungsablauf erklärt sich über den großen Winkel von 120° von Magnetachse und Rotationsachse. Das heißt, das Uranussystem ist um 120° gedreht worden, während das Neptunsystem nur um 47° gedreht wurde. Diese Bewegungsrichtung ist von hoher Bedeutung.

Das Uranussystem wird jedoch über den kleinen Winkel benannt. Das impliziert alleine durch die Angabe, dass das System wäre in dieser Richtung gedreht wurde. Dieser Gedanke wäre jedoch falsch. Diese Benennung ist demnach ein klares Zeichen, dass man nicht begriffen hat, welche Bedeutung die Magnetachse hat.

Erst wenn man den Ablauf versteht, würde man darauf bestehen, die Benennung von 120° einzutragen, - oder noch besser, - die Magnetachse gleich im Bezug zur Ekliptik zu benennen.

Diesen Bezug kann man wiederum noch nicht einmal aus den beiden Grafiken entziffern, weil der Winkel der Rotation zur Ekliptik nicht angegeben ist.

Hier sieht man zudem einen weiteren Fehler der gemacht wird. Der Winkel der Rotationsachse wird einfach nicht angegeben. Das wären bei Neptun 98° . Um jedoch die Rotationsachse überhaupt zu verstehen, muss man wissen, dass die senkrechte Stellung die Nullstellung ist. Von dieser Senkrechten aus müsste das Maß genommen werden. Diese ist nicht eingezeichnet. Die senkrechte zur Ekliptik wäre das Bezugssystem von dem aus alle Bezeichnungen eingetragen werden müssten. Da diese fehlt, ist die Zeichnung noch verwirrender.

Diese Fehler sind ein klares Zeichen dafür, dass man einmal nicht begriffen hat, und sich nicht damit beschäftigt hat, welche Bedeutung die Magnetachsen haben könnten. Umso bedeutender wird es, wenn man sich dessen bewusst wird, wie wichtig die Klärung der Rotation für das gesamte Verständnis des Sonnensystems ist.

Darstellungen sollten so aufgebaut sein, dass man sofort erkennen kann, was wesentlich ist. Mit diesen Angaben ist es nicht verwunderlich, dass das Rotationsproblem von Festkörpern im Sonnensystem nicht gelöst wurde.

4.6. Rotation von Festkörpern und das Bezugssystem

Um die Probleme der Rotation von Festkörpern im Sonnensystem zu entschlüsseln, ist es unerlässlich einmal mit genauen Daten zu arbeiten und zum anderen Daten im Bezugssystem der Sonne zu lassen. Alle Daten und das bezieht sich auch auf die Magnetachsen der Planeten müssen im Bezug zur Ekliptik benannt werden. Wenn man das nicht tut, ist es nicht möglich die Rotation und die damit eng verbundene Drehung der Mondsysteme zu entschlüsseln. Erst wenn das Bezugssystem der Ekliptik erkannt und dies mit der cirkum-stellaren Scheibe verbindet, kann man den Zusammenhang zwischen Rotation und Drehung von Mondsystemen beschreiben.

Wenn Wissenschaftler aus dem Bereich der Astronomie heute noch nicht erklären können, wie die Rotation überhaupt entsteht, liegt das schon in diesem fehlenden Schritt der ersten Beschreibung, und sich nicht auf das Bezugssystem einlässt. Das wäre wieder die Gasscheibe im Bezugssystem des Sterns.

4.7. Zusammenfassung der Temperaturprobleme

Das Temperaturproblem kommt nur zu einem sinnvollen Verständnis, wenn man alle Probleme die mit der Temperatur zusammen hängen, zusammenfasst. In manchen wissenschaftlichen Arbeiten findet man Problem der Meteoriten, anderen vom Problem die großen Körper Wärme abgeben als sie von der Sonne bekommen. Es ist auch erwähnt, dass in äußeren Regionen des Sonnensystems neben sehr bewegten Entwicklungen Verschmelzungsphasen der Oberfläche

durchgemacht wurden. Gedanken die am weitesten gingen, sahen die Klassen der Asteroiden in ihrem Aufbau die wachsende Entfernung und die damit fallende Temperatur im Bezug auf die Sonne. Man verwirft jedoch den Gedanken, weil die M-Klasse in geringem Maße vertreten ist {Siehe: nebenstehender Text von Grafik 5 (7.4.)}.

Einzelhinweise führen demnach schon so weit, dass man sich bis zu einem bestimmten Grad darüber im Klaren, wo die grundlegenden Probleme der Temperatur liegen. Der weiteste Schritt waren die Überlegungen zum Asteroidengürtel. Dieser wäre auch nur der Rest eines Entstehungsbereiches gewesen, der unter der abgeschwächten Rotation der Gasscheibe entstanden ist. Die Inklinationen waren schon klar. Die Trennung zwischen Eisen und Gestein funktionierte kaum mehr, und damit ist eine Analyse umso schwerer, daraus Schlüsse ziehen zu können.

4.8. Kombinatorische Leistung durch den Datenvergleich

Den Gedanken weiter zu führen, war nur Möglich in dem man andere Daten miteinander kombinierte, und dann zu dem Schluss gelangt, dass der Urzustand des Asteroidengürtels als Entstehungsbereich etwas anders war.

Die eigentliche Arbeit liegt nur darin, Dinge und Daten miteinander zu kombinieren. Dazu kommt eine grundlegende Idee. Demnach ist die weitere Entwicklung, die dann auch den Rahmen des Sonnensystems überschreitet und die Entstehung in den Bezug zum Stern setzt nur durch diese Kombination möglich gewesen. Daraus ist ein geometrisches Bild der Entstehung immer weiter entwickelt, und ist dann auch dazu übergegangen alle Körper um einen Stern in die Entwicklung einzuschließen. Auf diese Weise ist ein System entwickelt worden

4.9. Datenanalyse bei den Exoplaneten und Mehrfachsternsystemen

Die Übertragung einer Entstehungsgeschichte aus unserem Sonnensystem ist nur möglich, wenn man die Exoplaneten im Bezug zum Stern bezieht. Da im HRD ist ein Ordnungssystem geschaffen wurde, was für die Astronomie von elementarer Bedeutung ist, so muss das gleiche mit den Exoplaneten im Bezug zur Sternmasse oder dem Sternspektrum gemacht werden. Es bietet sich bei den Exoplaneten an direkt die Sternmasse zu bestimmen, weil das über sehr leicht möglich ist.

Eine solche Klassifikation ist das A und O der wissenschaftlichen Arbeit. Es ist verwunderlich, dass in der Physik das nicht gemacht wird. Wenn man sieht, wie sehr sich Menschen von nahezu 100 Jahren abgemüht haben die Sternspektren von 100000den von Sternen unter größten Aufwand zu bestimmen, damit die wissenschaftliche Arbeit weiter geht, und man es heute nicht nötig hat die Massen der Sterne von Exoplaneten auf einfachste Art zu bestimmen, stimmt das sehr traurig.

Was in den Klassifikationssystemen ebenfalls fehlt, ist ein Klassifikation für Doppel- und Mehrfachsternsysteme im Bezug zum Hauptstern, oder den von mir benannten Erststern. Es gibt nur die eine Auswertung von visuellen Doppelsternen, die alt ungenau ist. Hier ist es auch Empfehlenswert ein Diagramm über Sternmasse und die Perioden der Doppel- und Mehrfachsternsysteme zu erstellen, was dem *Diagramm 1* in dieser Arbeit entsprechen würde. Das würde die weitere Arbeit um einiges erleichtern.

4.10. Abschließender Gedanke

Diese Arbeit beschreibt einen neuen Entstehungsablauf. Die Gasscheibe, und diese vielen Körper sind in ihrer Struktur und in ihren Wechselwirkungen mit den Gesetzen der Physik nicht genau beschreibbar. Sie sind jedoch in Ansätzen und vom Prinzip zu erkennen. Demnach ist das gesamte Gedankensystem auf etwas aufgebaut, was verständlich ist, aber so in der Physik noch nicht akzeptiert werden kann. Alle weiteren Gedanken, die sich mit der Bewegung der Körper innerhalb dieser Gasscheibe beschäftigen, sind wiederum logisch und folgen den Gesetzen der Physik.

Demnach kann man diese Arbeit als gesamtes Konzept nur als logische Arbeit werten, die der Physik im Bereich der Astronomie dabei weiter hilft, Abläufe zur Bildung von Körpern um einen Stern und die Wirkung auf den Stern plausibel zu machen. Es wäre demnach die Arbeit eines Denkers, der den Physikern hilft. Die Beschreibung einen neuen vor allem recht genauen Entstehungsablauf von Körpern um einen Stern. Darauf könnte die Berechnung aufbauen, die von der Physik geleistet wird.

Wenn man noch ein kurzes Wort zum Denkprinzip der Physiker einfügt, so müsste man sagen: das grundlegende Prinzip der Physik liegt darin, dass sie sich von der höchsten Ebene der Abstraktion zu den Fakten der Realität bewegt.

In meiner bescheidenen Form als denkender Mensch, habe ich einen gedanklichen Weg gewählt, der sich von den vielen Fakten astronomischer Daten, über die Statistik zu einer beschreibenden Form entwickelt. Diese erklärt, wie sich eine große Zahl von Körpern innerhalb eines Gases und um das Gravitationsfeld eines werdenden Sterns, bewegen. Dahinter stecken wiederum einfache Formen der Gesetze wirkender Kräfte. Wohl sind die wirkenden Kräfte eindeutig, sie sind jedoch bei kleineren Körpern nicht mehr in der Lage eine klare Beschreibung aller Körper zu liefern, da die Vielzahl der Körper und ihre Wechselwirkungen zu groß sind. Trotzdem liefert die Arbeit ein sehr genaues Bild zur Entstehung von Körpern um einen Stern.

Diese Arbeit ist die eines einzelnen Denkers, der sich neben der Wissenschaft die Mühe macht, Probleme der Wissenschaft zu lösen. Insofern ergeben sich daraus weder Gegner noch Mitstreiter, denn die Physik bewegt sich eher auf der Ebene der Beschreibung des Einzelnen oder des einzelnen im Bezug auf das gesamte System. Sie beschäftigt sich weniger mit der Wechselwirkung vieler Körper in einer komplexeren Gasstruktur. Es scheint eher die Aufgabe eines Fachbereiches der Physik zu sein, der ihr ähnlich wäre, aber nicht identisch ist. Die Arbeit spricht demnach einer anderen aber ähnlichen Sprache, die der Physiker jedoch verstehen kann.

Ich möchte mich mit meiner Arbeit nicht mit den großen Denkern der Physik vergleichen. Es wäre die Arbeit eines Denkers und Architekten der den Physikern hilft sich vorstellen zu können, wie Körper im Universum entstehen. Würde sich dieses Gesamtbild als wahr erweisen, käme einer fundamentalen Veränderung in der Astronomie gleich. Es wäre neben der neuen Definition der Entstehung von Körpern um einen Stern auch ein neues Klassifizierungssystem der Stern, was man mit der dritten Dimension im HRD beschreiben könnte. Bisher konnte die Physik nur die Oberflächen von Körpern im Universum beschreiben. Meine Arbeit wäre demnach in der Lage die inneren Strukturen zu beschreiben, und zudem die Entstehungsdynamik von Körpern zu erklären. Damit hätte sie doch eine außergewöhnlich große Bedeutung.

Diese Arbeit ist das Werk eines Denkers und Architekten der versucht den Physikern in der Astronomie klarzumachen, welche Abläufe beim Entstehen von Körpern stattfinden. Sie ist in dem Sinne eine Hilfe, um einen komplexen geometrischen Ablauf der Entstehungsprozesse zu verbildlichen und klarzumachen welche Gesetze der Bewegungslehre herrschen. Damit sind Physiker in der Lage die Entwicklung genauer zu berechnen. Das wäre eine Aufgabe, die in ihren Arbeitsbereich fällt.

Ob die Physiker sich dieser Arbeit bedienen, bleibt abzuwarten. Es ist aber empfehlenswert, dass sie sich dieser Arbeit annimmt, weil in der Arbeit Fähigkeiten eines Menschen angeboten werden, die vielen Physikern fehlen dürfte.

Volkhard Radtke, Bochum im Februar 2008

Tabellen

Tabelle 4: Monde der Planeten (Es ist der Planetenradius angegeben.)

Objekt	mittlerer Abst. in km	Bahnneigung in Grad	Exzentrizität in Grad	Durchmesser in km	Umlauf in Tage	Jahr der Entdeckung	Entdecker
Erde				6378			
Mond	384 400	5.16	0.0554	3476	27.322	?	?
Mars				3399			
Phobos	9380	1.075	0.0151	26.2 × 18.6	0.319	1877	A. Hall
Deimos	23 460	1.793	0.0002	15.6 × 10.2	1.262	1877	A. Hall
Jupiter				71 492			
Metis	127 960	0.021	0.0012	44	0.295	1979	S. Synnott/Voyager 2
Adrastea	128 980	0.027	0.0018	16	0.298	1979	D. Jewitt, E. Danielson
Amalthea	181 300	0.389	0.0038	260	0.498	1892	E. Barnard
Thebe	221 900	1.070	0.0177	100	0.675	1979	S. Synnott/Voyager 1
Io	421 800	0.036	0.0000	3643	1.769	1610	Galileo Galilei
Europa	671 100	0.467	0.0002	3122	3.551	1610	Galileo Galilei
Ganymed	1 070 400	0.172	0.0011	5262	7.155	1610	Galileo Galilei
Kallisto	1 822 700	0.307	0.0074	4821	16.69	1610	Galileo Galilei
S/2000 J1	7 411 410	45.11	0.208	9	129.8	2000	Sheppard, u.a.
Leda	11 165 000	27.457	0.1636	18	240.92	1974	C. Kowal
Himalia	11 461 000	27.459	0.1623	150	250.56	1904	C. Perrine
Lysithea	11 717 000	28.302	0.1124	38	259.2	1938	S. Nicholson
Elara	11 741 000	26.627	0.2174	78	259.64	1905	C. Perrine
S/2000 J11	12 656 940	28.61	0.215	4	288.5	2000	Sheppard, u.a.
S/2001 J10	18 978 000	147.0	0.156	2	534.1	2001	Sheppard, u.a.
S/2000 J3	20 478 570	150.4	0.389	5	595.4	2000	Sheppard, u.a.
S/2001 J8	20 712 000	165.3	0.475	2	609.0	2001	Sheppard, u.a.
S/2001 J9	20 816 000	141.9	0.272	2	616.7	2001	Sheppard, u.a.
S/2001 J2	20 841 000	149.0	0.295	4	621.5	2001	Sheppard, u.a.
S/2000 J5	20 892 270	147.3	0.165	4	613.6	2000	Sheppard, u.a.
S/2001 J7	20 997 000	145.9	0.176	3	621.5	2001	Sheppard, u.a.
Ananke	21 276 000	148.889	0.2435	28	610.45	1951	S. Nicholson
S/2001 J3	21 324 000	150.3	0.251	4	629.8	2001	Sheppard, u.a.
S/2000 J7	21 399 390	164.2	0.096	7	635.5	2000	Sheppard, u.a.
S/2000 J9	22 409 640	146.8	0.184	5	683	2000	Sheppard, u.a.
S/2000 J10	22 512 360	166.6	0.266	4	686.7	2000	Sheppard, u.a.
S/2000 J2	22 683 915	165.1	0.377	5	694	2000	Sheppard, u.a.
S/2001 J6	22 877 000	165.4	0.228	2	715.3	2001	Sheppard, u.a.
S/2001 J4	23 317 000	150.1	0.345	3	713.1	2001	Sheppard, u.a.
S/2001 J11	23 401 000	165.7	0.291	3	735.5	2001	Sheppard, u.a.
Carme	23 404 000	164.907	0.2533	46	702.3	1938	S. Nicholson
S/2001 J5	23 515 000	155.0	0.454	2	732.3	2001	Sheppard, u.a.
S/2000 J8	23 526 750	151.8	0.601	6	734.2	2000	Sheppard, u.a.
Pasiphae	32 624 000	151.431	0.409	58	708.4	1908	P. Melotte
S/2001 J1	23 776 000	151.9	0.415	4	752.9	2001	Sheppard, u.a.
S/2000 J6	23 869 400	165.9	0.296	4	748.8	2000	Sheppard, u.a.
Sinope	23 939 000	158.1	0.250	38	724.5	1914	S. Nicholson
S/2000 J4	24 127 140	163.0	0.192	3	763.4	2000	Sheppard, u.a.
S/1999 J1	24 240 750	143.1	0.125	7	767.0	1999	Sheppard, u.a.
Saturn				60 348			
Pan	133 583	0.000	0.0000	19.31	0.575	1990	M. Showalter
Atlas	137 662	0.000	0.0000	36 × 8	0.602	1980	R. Terrile
Prometheus	139 373	0.000	0.0023	144 × 68	0.613	1980	S. Collins, u.a.
Pandora	141 708	0.000	0.0044	110 × 62	0.629	1980	S. Collins, u.a.
Epimetheus	151 399	0.335	0.0205	138 × 106	0.694	1966	R. Walker, u.a.
Janus	151 447	0.165	0.0037	198 × 152	0.695	1966	A. Dollfus
Mimas	185 727	1.566	0.0206	398	0.942	1789	W. Herschel
Enceladus	238 254	0.010	0.0001	498	1.370	1789	W. Herschel
Tethys	294 673	0.168	0.0001	1058	1.888	1684	G. Cassini

Objekt	mittlerer Bahnabst. in km	Bahnneigung in Grad	Exzentrizität in Grad	Durchmesser in km	Umlauf in Tage	Jahr der Entdeckung	Entdecker
Telesto	294 673	1.158	0.0010	30 × 16	1.888	1980	B. Smith u.a.
Calypso	294 673	1.437	0.0005	30 × 16	1.888	1980	D. Pascu u.a.
Dione	377 714	0.002	0.0001	1120	2.737	1684	G. Cassini
Helene	377 416	0.212	0.0001	32	2.737	1980	P. Laques, J. Lacacheux
Rhea	527 421	0.327	0.0009	1528	4.518	1672	G. Cassini
Titan	1 222 224	1.634	0.0288	5150	15.945	1655	C. Huygens
Hyperion	1 481 471	0.568	0.0175	370 × 226	21.277	1848	W. Bond
Japetus	3 562 180	7.570	0.0284	1440	79.330	1671	G. Cassini
S/2000 S5	11 365 000	46.158	0.3335	14	449.22	2000	B. Gladman
S/2000 S6	11 440 000	46.739	0.3216	10	451.48	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
Phoebe	12 944 346	174.751	0.1644	230 × 210	550.48	1898	W. Pickering
S/2000 S2	15 199 000	45.127	0.3637	19	686.92	2000	B. Gladman
S/2000 S8	15 645 000	152.847	0.2705	6.4	728.93	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
S/2000 S11	16 392 000	33.780	0.1141	26	783.30	2000	M. Holman, T.B. Spahr
S/2000 S10	17 611 000	34.472	0.4732	8.6	871.17	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
S/2000 S3	18 160 000	45.562	0.2947	32	893.07	2000	B. Gladman
S/2000 S4	18 239 000	33.511	0.5363	13	925.70	2000	B. Gladman
S/2000 S9	18 709 000	167.498	0.2078	5.6	951.38	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
S/2000 S12	19 470 000	175.809	0.1141	5.6	1016.83	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
S/2000 S7	20 470 000	175.807	0.4655	5.6	1088.89	2000	J. J. Kavelaars, B. Gladman
S/2000 S1	23 096 000	173.087	0.3331	16	1312.37	2000	B. Gladman
				26 459			
Uranus							
Cordelia	49 800	0.085	0.0003	26	0.335	1986	R. Terrile/Voyager 2
Ophelia	54 700	0.104	0.0099	32	0.376	1986	R. Terrile/Voyager 2
Bianca	60 100	0.193	0.0009	44	0.435	1986	Voyager 2
Cressida	62 700	0.006	0.0004	66	0.464	1986	S. Synnott/Voyager 2
Desdemona	63 600	0.113	0.0001	58	0.474	1986	S. Synnott/Voyager 2
Juliet	65 300	0.065	0.0001	84	0.474	1686	S. Synnott/Voyager 2
Portia	67 000	0.059	0.0001	110	0.513	1986	S. Synnott/Voyager 2
Rosalind	70 800	0.279	0.0001	58	0.558	1986	S. Synnott/Voyager 2
Belinda	76 200	0.031	0.0001	68	0.624	1986	S. Synnott/Voyager 2
Puck	86 900	0.319	0.0001	154	0.762	1986	S. Synnott/Voyager 2
Miranda	130 800	4.338	0.0018	471.6	1.413	1948	G. Kuiper
Ariel	191 800	0.042	0.0012	1157.8	2.520	1851	W. Lassell
Umbriel	266 900	0.133	0.0040	1169.4	4.144	1851	W. Lassell
Titania	437 200	0.112	0.0012	1577.8	8.706	1787	W. Herschel
Oberon	584 400	0.069	0.0013	1522.8	13.46	1787	W. Herschel
Caliban	7 231 900	140.878	0.1588	98	579.45	1997	B. Gladman
Stephano	8 004 900	144.103	0.2295	20	676.89	1999	B. Gladman
Sycorax	12 179 900	159.403	0.5224	190	1283.42	1997	Nicholson
Prospero	16 243 900	151.966	0.4431	30	1961.80	1999	M. Holman
Setebos	17 501 900	158.161	0.5843	30	2208.88	1999	J. J. Kavelaars
				24 766			
Neptun							
Naiad	48 200	4.738	0.0003	58	0.294	1989	R. Terrile/Voyager 2
Thalassa	50 100	0.205	0.0002	80	0.311	1989	R. Terrile/Voyager 2
Despina	52 500	0.065	0.0001	148	0.335	1989	R. Terrile/Voyager 2
Galatea	62 000	0.054	0.0001	158	0.429	1989	R. Terrile/Voyager 2
Larissa	73 500	0.201	0.0014	208 × 178	0.555	1989	H. Reitsema/Voyager 2
Proteus	117 600	0.039	0.0004	400	1.122	1989	S. Synnott/Voyager 2
Triton	354 800	156.834	0.0000	2700	5.877	1846	W. Lassell
Nereid	5 513 400	7.323	0.7512	340	360.14	1949	G. Kuiper
				1150			
Pluto							
Charon	19 410	99.089	0.0002	1250	6.387	1978	J. Christy

(5.2.)²⁰⁵

²⁰⁵ Sterne und Weltraum, Spezial 7 10-2002 Tabellen auf S. 108 f

In dieser Angabe ist die Inklination von Japetus kleiner als in Tabelle 6.

Tabelle 5: Daten über Planeten (19.1.)²⁰⁶

Tab. 4.1a: Astronomische Daten von Planeten

Planet	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto
Astronomisches Symbol	☿	♀	⊕	♂	♃	♄	♅	♆	♇
Mittl. Entfernung von der Sonne [AE]	0,387	0,723	≡1	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06	39,53
Perihel [AE]	0,307	0,718	0,983	1,381	4,950	9,023	18,33	29,84	29,66
Aphel [AE]	0,467	0,728	1,017	1,666	5,455	10,086	20,11	30,38	49,22
Bahnexzentrizität	0,206	0,007	0,017	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009	0,248
Bahnperiode [Jahre]	0,241	0,615	≡1	1,881	11,86	29,46	84,01	164,80	247,71
Mittl. Bahngeschwindigkeit [km/s]	47,9	35,0	29,8	24,1	13,1	9,66	8,81	5,44	4,74
Inklination [°]	7,004	3,394	0	1,850	1,304	2,489	0,773	1,772	17,15
Äquatorradius [km]	2439	6052	6378	3398	71'400	60'330	25'560	24'760	1180
Abplattung	0	0	0,0033	0,052	0,065	0,108	0,030	0,026	0
Rotationsperiode [Tage]	58,65	– 243,0	≡1	1,026	0,410	0,426	0,75	0,80	6,39
Äquatorneigung [°]	0,0	178	23,4	25,0	3,08	26,7	97,9	29,6	122,5
Masse [10^{24} kg]	0,33	4,87	5,98	0,642	1'900	569	86,8	102	0,013
Dichte [g/cm ³]	5,42	5,25	5,52	3,94	1,31	0,69	1,29	1,64	2,1
Druckentlastete Dichte [g/cm ³]	5,31	3,95	4,03	3,71					
Solarkonstante	6,7	1,9	≡1	0,43	0,037	0,011	0,0027	0,0011	0,0006
Oberflächentemperatur [K]	440	730	288	218	110	80	50	59	30

²⁰⁶ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu den Planeten unseres Sonnensystems.

S. 47 f

Tabelle 6: Daten zu den Monden in unserem Sonnensystem

Tab. 4.1b: Astronomische Daten von Monden (PR = Planetenradien)

	Mittl. Abstand vom Planeten		Bahn- periode	Exzen- trizität	Inkli- nation	Masse	Radius	Dichte	Geom. Albedo
	[10 ³ km]	[PR]	[Tage]		[°]	[10 ²⁰ kg]	[km]	[g/cm ³]	
Erde									
Mond	384,4	60,3	27,32	0,055	18,3–28,6	735	1738	3,34	0,11
Mars									
Phobos	9,38	2,8	0,32	0,018	0	0,000096	14 × 10	1,9	0,05
Deimos	23,50	6,9	1,26	0,002	0	0,00002	8 × 6	2,1	0,05
Jupiter									
Metis	128,0	1,79	0,295	0,0	0,0	?	20	?	?
Adrastea	129,0	1,81	0,298	0,0	0,0	?	12 × 8	?	0,04
Amalthea	181,5	2,54	0,498	0,003	0,45	?	135 × 78	?	0,05
Thebe	222	3,11	0,674	0,01	0,8?	?	50	?	0,1
Io	422	5,91	1,769	0,000	0,03	889	1820	3,53	0,63
Europa	671	9,40	3,551	0,000	0,46	479 ⁱ	1565	3,03	0,64
Ganymed	1071	14,99	7,155	0,002	0,18	1480	2640	1,93	0,43
Callisto	1884	26,37	16,69	0,008	0,25	1080	2420	1,79	0,17
Leda	11'110	155,4	240	0,146	26,7	?	8	?	?
Himalia	11'470	160,8	250,6	0,158	27,6	?	90	?	0,03
Lysithea	11'710	164,2	260	0,12	29,0	?	20	?	?
Elara	11'740	164,4	260,1	0,207	24,8	?	40	?	0,03
Anake	20'700	296,9	617	0,169	147	?	15	?	?
Carme	22'350	316,5	692	0,207	163	?	22	?	?
Pasiphae	23'300	329,1	735	0,40	147	0,0019	35	?	?
Sinope	23'700	331,9	758	0,275	156	0,00076	20	?	?
Saturn									
Pan	133,6	0,58	0	0	?	10	?	?	
Atlas	137,6	2,28	0,60	0,002	0,3	?	25 × 10	?	0,4
Prometheus	139,4	2,31	0,61	0,003	0,0	?	70 × 40	?	0,6
Pandora	141,7	2,32	0,63	0,004	0,05	?	55 × 35	?	0,6
Epimetheus	151,4	2,51	0,69	0,009	0,34	?	70 × 50	?	0,5
Janus	151,4	2,51	0,70	0,007	0,14	?	110 × 80	?	0,5
Mimas	185,5	3,08	0,94	0,020	1,5	0,45	196	1,20	0,6
Enceladus	238,0	3,95	1,37	0,004	0,0	0,84	250	1,20	0,95
Tethys	294,7	4,88	1,89	0,000	1,1	7,5	530	1,21	0,7
Telesto	294,7	4,88	1,89	0,0	~1	?	17 × 11	?	0,8
Calypso	294,7	4,88	1,89	0,0	~1	?	17 × 13	?	0,6

	Mittl. Abstand vom Planeten		Bahn- periode	Exzen- trizität	Inkli- nation	Masse	Radius	Dichte	Geom. Albedo
	[10 ³ km]	[PR]	[Tage]		[°]	[10 ²⁰ kg]	[km]	[g/cm ³]	
Dione	377	6,26	2,74	0,002	0,0	10,5	560	1,43	0,5
Helene	377	6,26	2,74	0,005	0,15	?	18 × 15	?	0,5
Rhea	527	8,74	4,52	0,001	0,4	24,9	765	1,33	0,6
Titan	1222	20,25	15,94	0,029	0,3	1345	2575	1,88	0,2
Hyperion	1482	24,55	21,28	0,104	~0,5	?	250 × 110	?	0,3
Iapetus	3562	59,03	79,33	0,028	14,72	18,8	730	1,16	var.
Phoebe	12'930	214,7	550,4	0,163	150	?	110	?	0,06
<i>Uranus</i>									
Cordelia	49,7	1,90	0,335	0	0,14	?	15	?	0,1
Ophelia	53,8	2,05	0,376	0,01	0,09	?	15	?	0,1
Bianca	59,2	2,26	0,435	0	0,16	?	20	?	0,1
Cressida	61,8	2,36	0,464	0	0,04	?	35	?	0,1
Desdemona	62,7	2,39	0,474	0	0,16	?	30	?	0,1
Juliet	64,6	2,47	0,493	0	0,06	?	40	?	0,1
Portia	66,1	2,52	0,513	0	0,09	?	55	?	0,1
Rosalind	69,9	2,67	0,558	0	0,28	?	30	?	0,1
Belinda	75,3	2,87	0,624	0	0,03	?	35	?	0,1
Puck	86,0	3,28	0,762	0	0,31	?	75	?	0,07
Miranda	129,8	4,95	1,414	0,00	3,40	0,69	235	1,35	0,34
Ariel	191,2	7,30	2,520	0,00	0,00	12,6	580	1,66	0,40
Umbriel	266,0	10,15	4,144	0,00	0,00	13,3	585	1,51	0,19
Titania	435,8	16,64	8,706	0,00	0,00	34,8	790	1,68	0,28
Oberon	582,6	22,24	13,46	0,00	0,00	30,3	760	1,58	0,24
<i>Neptun</i>									
Naiad	48,0	1,98	0,296	0	0,0	?	25	?	0,06
Thalassa	50,0	2,06	0,312	0	4,5	?	40	?	0,06
Despina	52,2	2,16	0,333	0	0,0	?	90	?	0,06
Galatea	62,0	2,55	0,429	0	0,0	?	75	?	0,05
Larissa	73,6	3,03	0,554	0	0,0	?	95	?	0,05
Proteus	117,6	4,84	1,121	0	0,0	?	200	?	0,06
Triton	354,3	14,0	5,877	0,00	157	214	1350	2,07	0,75
Nereid	5513,4	219	360,16	0,75	29	?	170	?	0,14
<i>Pluto</i>									
Charon	19,6	19,7	6,39		98,8	17,7	620	1,3	0,32

(19.1.)²⁰⁷

²⁰⁷ Ludolf Schulz: „Planetologie - eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

Daten zu den Monden unseres Sonnensystems.

S. 47 f

Tabelle 7: Eigenschaften der Chemische Elemente (31.1.)²⁰⁸

Elemente	Ord- nungs- zahl	Atom- masse bezogen auf ¹² C	Dichte bei 18 °C in g·cm ⁻³	Schmelz- punkt in °C	Siede- punkt bei 101,33 kPa in °C	Wertigkeit (stöchiom.)	Anre- gungs- span- nung in Volt
Zeichen	Name						
Ac	Actinium	89	227,0278	-	-	III	-
Ag	Silber	47	107,868	10,50	+960,5	+2152	I, II, III
Al	Aluminium	13	26,9815	2,70	+660,2	+2270	I, III
Am	Americium	95	[243]	-	-	II, III, IV, V, VI	-
Ar	Argon	18	39,948	1,3845*)	-189,3	-185,9	0 oder VIII
As	Arsen	33	74,9216	5,72	+830	+633 (S)	III, V
At	Astatin	85	[210]	-	-	I, III, V, VII	-
Au	Gold (Aurum)	79	196,9665	19,92	+1063	+2710	I, III
B	Bor	5	10,811	2,34	+2070	+2550	III, V
Ba	Barium	56	137,33	3,76	+717	+1696	II
Be	Beryllium	4	9,01218	1,86	+1278	+2970	II
Bi	Bismut (Wismut)	83	208,9804	9,80	+271	+1560	II, III, V
Bk	Berkelium	97	[247]	-	-	III, IV	-
Br	Brom	35	79,904	3,12	-7,3	+58,8	I, III, V
C(Dia)	Kohlenstoff	6	12,0111	3,514	+3540	+3927	II, III, IV
C(Gra)	Kohlenstoff			2,26			II, III, IV
Ca	Calcium	20	40,08	1,55	+845	+1439	II
Cd	Cadmium	48	112,41	8,64	+320,9	+767,3	II
Ce	Cerium	58	140,12	6,78	+775	+3600	III, IV
Cf	Californium	98	[251]	-	-	III	-
Cl	Chlor	17	35,453	1,507*)	-102,4	-33,9	I, III, IV, V, VII
Cm	Curium	96	[247]	-	-	III	-
Co	Cobalt	27	58,9332	8,83	+1490	+3100	I, II, III, IV
Cr	Chrom (Chromium)	24	51,996	7,14	+1850	+2660	I, II, III, IV, V, VI
Cs	Caesium	55	132,9054	1,873	+28,45	+708	I
Cu	Kupfer	29	63,546	8,92	+1083	+2350	I, II, III
Dy	Dysprosium	66	162,50	8,562	+1407	+2600	III
Er	Erbium	68	167,26	9,164	+1497	+2900	III
Es	Einsteinium	99	[252]	-	-	III	-
Eu	Europium	63	151,96	5,244	+826	+1439	II, III
F	Fluor	9	18,9984	1,10*)	-223	-188	I
Fe	Eisen (Ferrum)	26	55,847	7,86	+1539	+2740	II, III, IV
Fm	Fermium	100	[257]	-	-	III	-
Fr	Francium	87	[223]	-	-	I	-
Ga	Gallium	31	69,72	5,904	+29,78	+2344	I, II, III
Gd	Gadolinium	64	157,25	7,948	+1312	+3000	III
Ge	Germanium	32	72,59	5,35	+958,5	+2700	II, IV

²⁰⁸ G. O. Müller „Lehrbuch der angewandten Chemie“ Band II –3. Auflage - S. Hirzel Verlag Leipzig 1988

Daten zu den Elementen. (Elementkonstanten)

S. 516 ff

Tabelle 36. (Fortsetzung)

Elemente		Ord-	Atom-	Dichte	Schmelz-	Siede-	Wertigkeit	Anre-
Zeichen	Name	nungs-	masse	bei	punkt	punkt	(stöchiom.)	gungs-
		zahl	bezogen	18 °C	in °C	bei		span-
			auf ¹² C	in g·cm ⁻³		101,33 kPa		nung
						in °C		in Volt
H	Wasserstoff	1	1,00797	0,07*)	-259,4	-252,8	I	10,15
He	Helium	2	4,0026	0,15*)	-272(p)	-268,93	0 oder VIII	20,86
Hf	Hafnium	72	178,49	13,31	+2210	+3200	II, III, IV	-
Hg	Quecksilber	80	200,59	12,5457	-38,84	+356,95	I, II	4,64
Ho	Holmium	67	164,9304	8,803	+1461	+2600	III	-
I	Iod	53	126,9045	4,942	+113,7	+184,5	I, III, V, VII	-
In	Indium	49	114,82	7,31	+156,4	+2000	I, II, III	3,01
Ir	Iridium	77	192,22	22,65	+2454	+4800	I, II, III, IV, VI	-
K	Kalium	19	39,0983	0,862	+63,5	+762	I	1,60
Kr	Krypton	36	83,80	-	-157,1	-153,2	0 oder VIII	9,86
Ku	Kurtschatowium	104	[261]	-	-	-	IV	-
La	Lanthan	57	138,9055	6,15	+920	+4515	III	2,22
Li	Lithium	3	6,941	0,535	+179	+1336	I	1,83
Lu	Lutetium	71	174,97	9,842	+1652	+3327	III	-
Lw	Lawrencium	103	[260]	-	-	-	-	-
Md	Mendelevium	101	[258]	-	-	-	III	-
Mg	Magnesium	12	24,305	1,74	+650	+1102	II	2,70
Mn	Mangan	25	54,9380	7,21	+1221	+2152	I, II, III, IV, V, VI, VII	2,29
Mo	Molybdän	42	95,94	10,2	+2622	+4800	II, III, IV, V, VI	-
N	Stickstoff	7	14,0067	0,879*)	-210,5	-195,8	I, II, III, IV, V	10,29
Na	Natrium	11	22,98977	0,9712	+97,7	+883	I	2,09
Nb	Niobium	41	92,9064	8,58	+2550	+3700	II, III, IV, V	2,96
Nd	Neodym	60	144,24	7,004	+1024	+3300	III	-
Ne	Neon	10	20,179	-	-248,6	-245,98	0 oder VIII	16,54
Ni	Nickel	28	58,70	8,90	+1453	+2800	I, II, III, IV	-
No	Nobelium	102	259	-	-	-	II, III	-
Np	Neptunium	93	237,0462	20,5	+640	-	III, IV, V, VI	-
O	Sauerstoff	8	15,9994	1,118*)	-218,78	-182,97	II	9,11
Os	Osmium	76	190,2	22,48	+2250	+5500	II, III, IV, VI, VIII	-
P	Phosphor (weiß)	15	30,97376	1,83	+44,1	+280,5	I, III, IV, V	2,31
Pa	Protactinium	91	231,0359	-	-	-	IV, V	-
Pb	Blei	82	207,19	11,336	+327,4	+1755	II, IV	4,31
Pd	Palladium	46	106,4	12,03	+1554,4	+3387	II, III, IV	-
Pm	Promethium	61	145	-	-	-	III	-
Po	Polonium	84	[209]	9,32	+254	+962	II, IV, VI	-
Pr	Praseodym	59	140,9077	6,782	+935	+3300	II, III, IV	-
Pt	Platin	78	195,09	21,45	+1773,5	+4300	I, II, III, IV, VI	-
Pu	Plutonium	94	[244]	19,7	+640	-	III, IV, V, VI	-
Ra	Radium	88	226,0254	6	+700	+1140	II	1,61
Rb	Rubidium	37	85,4678	1,52	+39	+696	I	1,55
Re	Rhenium	75	186,207	20,9	+3170	+5870	I, II, III, IV, VI, VII	2,34

Elemente		Ord- nungs- zahl	Atom- masse bezogen auf ^{12}C	Dichte	Schmelz- punkt	Siede- punkt	Wertigkeit (stöchiom.)	Anre- gungs- span- nung in Volt
Zeichen	Name			bei 18 °C in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	in °C	bei 101,33 kPa in °C		
Rh	Rhodium	45	102,905 5	12,42	+1966	+4500	I, II, III, IV, VI	-
Rn	Radon	86	[222]	-	-71	-63	0 oder VIII	6,73
Ru	Ruthenium	44	101,07	12,304	+1950	-	II, III, IV, VI, VII, VIII	-
S	Schwefel	16	32,06	2,06	+118,95	+444,6	II, IV, VI	6,50
Sb	Antimon (Stibium)	51	121,75	6,69	+630,5	+1635	III, IV, V	5,34
Sc	Scandium	21	44,956	3,1	+1539	+2727	III	1,95
Se	Selen	34	78,96	4,81	+220,2	+688	II, IV, VI	-
Si	Silicium	14	28,085 5	2,38	+1414	+2630	II, IV	4,91
Sm	Samarium	62	150,4	7,536	+1052	+1900	II, III	-
Sn	Zinn (Stannum)	50	118,69	7,28	+231,85	+2362	II, IV	-
Sr	Strontium	38	87,62	2,6	+757	+1366	II	1,77
Ta	Tantal	73	180,948	16,69	+3030	+6100	II, III, IV, V	2,70
Tb	Terbium	65	158,925 4	8,332	$\sim$ +1450	+2800	III, IV	-
Tc	Technecium	43	[98]	11,49	+2140	-	IV, VI, VII	-
Te	Tellur	52	127,60	6,24	+449,5	+1390	II, IV, VI	5,45
Th	Thorium	90	232,038	11,71	+1827	+3530	II, III, IV	-
Ti	Titanium	22	47,90	4,53	+1727	+3262	II, III, IV	-
Tl	Thallium	81	204,37	11,83	+302,5	+1457	I, III	3,27
Tm	Thulium	69	168,934 2	9,332	+1545	+1727	III	-
U	Uranium	92	238,029	18,685	+1130	+3500	II, III, IV, V, VI	-
V	Vanadium	23	50,941 4	6,07	+1715	+3000	I, II, V	-
W	Wolfram	74	183,85	19,3	+3370	$\sim$ +5900	II, III, IV, V, VI	2,65
Xe	Xenon	54	131,30	3,52*)	-111,8	-108,1	0 oder VIII	8,27
Y	Yttrium	39	88,905 9	4,34	+1475	+2927	III	-
Yb	Ytterbium	70	173,04	7,01	+824	+1427	II, III	-
Zn	Zink	30	65,38	7,14	+419,44	+907	II	3,99
Zr	Zirkonium	40	91,22	6,52	+1860	$\sim$ +3600	II, III, IV	-

*) Dichten im flüssigen Zustand am Siedepunkt.

Atommassen entsprechen der Empfehlung der Internationalen Union für reine und angewandte Physik und Chemie von 1961. Die Werte sind nach dem Stand von 1975 (vgl. Pure appl. Chemistry 47 (1976) 75-95) zusammengestellt. In eckigen Klammern sind die Massen der langlebigsten Isotope angegeben.

Tabelle 8: Exoplaneten²⁰⁹

Name	Periode/d	r/AE	Sternmasse/kg	Stern / Sonnen- massen	Planet /Jupiter- massen
otr56b	1,2119	0,023	2,0588E+30	1,036	1,45
TRES-3	1,306	0,023	1,79655E+30	0,904	1,92
Hd41004b	1,3283	0,018	8,34312E+29	0,420	18,4
Otr113b	1,4325	0,023	1,53326E+30	0,771	1,35
WASP-5b	1,63	0,027	1,94484	0,978	1,6
Otr132b	1,69	0,031	2,66313E+30	1,340	1,19
Sweeps-11	1,796	0,030	2,22204E+30	1,118	9,7
WASP-3b	1,846834	0,032	2,55032E+30	1,283	1,76
gliese876d	1,93776	0,021	6,36196E+29	0,320	0,023
Hd86081b	2,1375	0,039	3,44654E+30	1,734	1,5
Wasp-2b	2,152226	0,031	1,65821E+30	0,834	0,88
hd189733b	2,218574	0,031	1,65381E+30	0,832	1,15
hd212301b	2,457	0,036	2,05163E+30	1,032	0,45
TrES-2	2,47063	0,0367	2,14973E+30	1,081	1,98
WASP-1b	2,51997	0,038	2,33024E+30	1,172	0,89
hd73256	2,548	0,037	2,07113E+30	1,042	1,87
XO-2b	2,615838	0,037	1,94921E+30	0,98	0,57
GJ436b	2,6441	0,028	8,15793E+29	0,410	0,067
HAT-P-5b	2,788491	0,041	2,31018E+30	1,162	1,06
55cnce	2,81	0,038	1,84476E+30	0,928	0,045
hd63454b	2,81782	0,036	1,55985E+30	0,785	0,38
hd149026b	2,8766	0,042	2,37679E+30	1,196	0,36
HAT-P-3b	2,899703	0,039	1,86415E+30	0,938	0,599
hd83443	2,985	0,040	1,90674E+30	0,959	0,41
hd46375	3,024	0,041	2,00073E+30	1,006	0,249
TrES-1	3,030065	0,039	1,75499E+30	0,883	0,61
hd179949	3,092	0,040	1,77706E+30	0,894	0,98
hd187123b	3,097	0,042	2,05053E+30	1,031	0,52
O-TR-10b	3,1013	0,042	1,98698E+30	0,999	0,54
hd120136	3,314	0,046	2,35272E+30	1,183	3,9
hd188753A	3,3481	0,045	2,10092E+30	1,057	1,14

²⁰⁹ Diese Tabelle ist eine eigene Auswertung 249 Exoplaneten und entstammt aus mehreren Quellen

hd330075	3,369	0,043	1,85954E+30	0,935	0,76
hd88133	3,41	0,047	2,37021E+30	1,192	0,22
hd2638b	3,4442	0,044	1,90626E+30	0,959	0,48
hd10366	3,488	0,046	2,12384E+30	1,068	0,48
hd75289	3,51	0,046	2,0973E+30	1,055	0,42
TrES-4	3,553945	0,049	2,47268E+30	1,244	0,84
hd209458	3,525	0,045	1,9468E+30	0,979	0,69
Hd219828b	3,8335	0,052	2,53992E+30	1,278	0,066
HAT-P-6b	3,852985	0,052	2,57277E+30	1,294	0,056
Lupus-TR-3b	3,911405	0,046	1,73336E+30	0,872	1,057
XO-1b	3,941534	0,049	1,98578E+30	0,999	0,9
hd76700	3,971	0,049	1,98057E+30	0,996	0,197
Ort182b	3,9791	0,051	2,22404E+30	1,119	1,01
otr111b	4,0161	0,047	1,70878E+30	0,860	0,53
hd149143b	4,072	0,053	2,38349E+30	1,199	1,33
hd102195b	4,115	0,049	1,84438E+30	0,928	0,48
SWEEPS-04	4,2	0,055	2,50375E+30	1,259	+3,8
51pegb	4,23077	0,052	2,08532E+30	1,049	0,468
HAT-P-1b	4,46529	0,055	2,22719E+30	1,120	0,53
Ups Andb ²¹⁰	4,617	0,059	2,55752E+30	1,286	0,69
Gliese674b	4,6938	0,039	7,14736E+30	0,360	0,039
hd49674	4,9437	0,058	2,11924E+30	1,066	0,11
hd109749b	5,24	0,064	2,47548E+30	1,245	0,28
HAT-P-2b	5,3341	0,068	2,89498E+30	1,456	8,64
Gliese581b	5,366	0,041	6,35406E+29	0,320	0,056
hd118203b	6,1335	0,070	2,42035E+30	1,217	2,13
hd68988	6,276	0,071	2,41218E+30	1,213	1,9
hd168746	6,403	0,065	1,77817E+30	0,894	0,23
Hip14810b	6,6742	0,069	1,97479E+30	0,993	3,84
Hd185269	6,838	0,077	2,59188E+30	1,304	0,94
hd217107	7,127	0,074	2,11785E+30	1,065	1,3
hd162020b	8,4242	0,072	1,39618E+30	0,702	13,75
Hd69830b	8,667	0,079	1,70951E+30	0,860	0,033
hd160691d	9,55	0,090	2,12189E+30	1,067	0,044
Hd285968b	10,2336	0,072	9,6411E+29	0,476	0,0757

²¹⁰ Ups And b wird in der Masse des Sterns in die Stufe von 1,3 Sonnenmassen eingeordnet, weil seine beiden Partner über dieser Grenze liegen.

hd130322	10,724	0,088	1,57302E+30	0,791	1,08
hd108147	10,901	0,104	2,51286E+30	1,264	0,4
Gliese581c	12,93	0,073	6,18362E+29	0,311	0,0158
hd38529b	14,308	0,129	2,78364E+30	1,400	0,78
55cncb	14,67	0,115	1,87601E+30	0,944	0,784
hd4308b	15,56	0,114	1,62441E+30	0,817	0,047
hd13445	15,766	0,110	1,42147E+30	0,715	4,01
hd99492	17,038	0,119	1,54101E+30	0,775	0,122
hd190360c	17,1	0,128	1,90388E+30	0,958	0,057
hd27894b	17,991	0,122	1,48926E+30	0,749	0,62
Hd33283b	18,179	0,168	3,80881E+30	1,916	0,33
hd195019	18,3	0,140	2,17512E+30	1,094	3,43
hd102117	20,67	0,149	2,05532E+30	1,034	0,14
hd17156b	21,2	0,150	1,99344E+30	1,003	3,08
hd6434	22,09	0,150	1,83605E+30	0,924	0,48
hd192263	24,348	0,150	1,51129E+30	0,760	0,72
Hd224693b	26,73	0,233	4,69971E+30	2,346	0,71
Gliese876c	30,1	0,130	6,43722E+29	0,324	0,56
hd37124b	31	0,181	1,638E+30	0,824	0,25
hd69830c	31,56	0,186	1,71501E+30	0,863	0,038
hd11964b	37,82	0,229	2,22877E+30	1,121	0,11
rhoCrBb	39,845	0,220	1,78042E+30	0,896	1,04
55cncc	43,93	0,240	1,90157E+30	0,957	0,217
hd107148b	48,056	0,269	2,2375E+30	1,126	0,21
hd74156	51,642	0,294	2,52951E+30	1,272	1,86
hd117618	52,2	0,280	2,13862E+30	1,076	0,19
hd37605b	55	0,250	1,37118E+30	0,690	2,3
hd168443b	58,1	0,295	1,91692E+30	1,016	7,2
Gliese876b	60,94	0,208	6,41684E+29	0,323	1,935
hd3651	62,23	0,284	1,57021E+30	0,790	0,2
hd121504	64,6	0,320	2,08442E+30	1,049	0,89
hd101930b	70,46	0,302	1,47278E+30	0,741	0,3
hd178911	71,487	0,320	1,70215E+30	0,856	6,298
hd16141	75,56	0,350	1,99352E+30	1,003	0,23
Gliese581d	83,6	0,250	5,93484E+30	0,299	0,0243
hd114762	83,89	0,350	1,61728E+30	0,814	11,02
Hip14810c	95,2914	0,407	1,97096E+30	0,991	0,76

hd80606	111,78	0,439	1,79749E+30	0,904	3,41
hd117176	116,689	0,480	2,15608E+30	1,085	7,44
hd216770	118,45	0,460	1,84164E+30	0,926	0,65
hd52265	118,96	0,490	2,20692E+30	1,110	1,13
hd208487b	123	0,490	2,06433E+30	1,038	0,45
hd34445b	126	0,510	2,21805E+30	1,116	0,58
GJ3021b	133,82	0,490	1,744E+30	0,877	3,32
hd93083	143,58	0,477	1,39755E+30	0,703	0,37
hd37124c	154,46	0,530	1,65652E+30	0,833	0,61
hd219449	182	0,650	2,20089E+30	1,107	2,9
hd73526	190,5	0,660	2,10302E+30	1,058	3
Hd155358b	195	0,628	1,72906E+30	0,870	0,89
Hd69830d-	197	0,630	1,71037E+30	0,860	0,058
hd104985	198,2	0,780	3,20684E+30	1,613	6,3
Hd75898b	204,2	0,737	2,54854E+30	1,282	1,48
hd82943c	219	0,746	2,29789E+30	1,156	2,01
hd8574	228,8	0,760	2,22602E+30	1,120	2,23
hd169830-	225,62	0,810	2,77141E+30	1,394 ²¹¹	2,88
Ups And c-	241,5	0,829	2,59317E+30	1,304	1,89
hd202206-	255,87	0,830	2,31844E+30	1,166	17,4
hd89744	256,605	0,890	2,84211E+30	1,430	7,99
55cncf	260	0,780	1,86354E+30	0,937	1,58
hd12661b-	263,6	0,830	2,18446E+30	1,099	2,3
hd150706	264	0,820	2,10008E+30	1,056	1
hd40979	267,2	0,811	1,98331E+30	0,998	3,32
4Urab	269,3	0,870	2,41038E+30	1,212	7,1
Hd17554b	297,3	1,030	3,28188E+30	1,651	0,61
hd59686	303	0,911	2,18611E+30	1,100	5,25
Hd160691e	310,55	0,921	2,15039E+30	1,082	0,5219
hd17051	311,288	0,910	2,06443E+30	1,038	1,94
hd92788	327,393	0,950	2,12341E+30	1,068	3,31
hd142	337,112	0,980	2,19852E+30	1,106	1
hd210702b	341,1	1,170	3,6542E+30	1,868	2
Hd122430b	344,95	1,020	2,3675E+30	1,191	3,71
Hd74156d	346,6	1,040	2,48567E+30	1,250	0,396
Hd192699b	351,5	1,160	3,3537E+30	1,687	2,5
Hd156846b	358,51	0,990	1,9929E+30	1,002	10,34

²¹¹ In den Grafiken ist die Masse dieses Sterns unter 1,4 Sonnenmassen aufgeführt.

Hd17092b	359,9	1,290	4,39953E+30	2,213	4,6
hd92788b	377,7	0,970	1,69833E+30	0,854	3,86
Hd73526c	377,8	1,050	2,15301E+30	1,083	2,5
hd28185	383	1,030	1,97749E+30	0,995	5,7
hd196885	386	1,120	2,50311E+30	1,259	1,84
hd142415	386,3	1,050	2,0593E+30	1,036	1,62
hd33564	388	1,100	2,34701E+30	1,181	9,1
hd177830b	391	1,000	1,73639E+30	0,873	1,29
hd108874b	395,4	1,051	1,97122E+30	0,992	1,36
hd154857	398,5	1,110	2,2862E+30	1,150	1,8
hd4203	400,944	1,090	2,13852E+30	1,076	1,65
Hd167042b	416,1	1,300	3,36849E+30	1,694	1,6
hd27442	423,841	1,180	2,42796E+30	1,221	1,28
hd210277	435,6	1,097	1,84691E+30	0,929	1,24
hd82943c	441,2	1,190	2,29811E+30	1,156	1,75
hd128311b	448,6	1,099	1,75096E+30	0,881	2,18
hd19994	454	1,300	2,82956E+30	1,423	2
Hd221287b	456,1	1,250	2,49236E+30	1,254	3,09
hd188015	456,46	1,190	2,14702E+30	1,080	1,26
hd20367	469,5	1,250	2,35212E+30	1,183	1,17
hd13189b	471,6	1,850	7,55734E+30	3,801	14
hd20367b	500	1,250	2,07392E+30	1,043	1,07
hd114783	501	1,200	1,82755E+30	0,919	0,99
hd4113b	526,62	1,280	2,00741E+30	1,010	1,56
hd155358c	530,3	1,224	1,73102E+30	0,871	0,504
hd171028b	538	1,290	1,96882E+30	0,990	1,83
hd147513	540,4	1,260	1,81837E+30	0,915	1
hip75458b	550,651	1,340	2,10651E+30	1,060	8,46
hd222582	572	1,350	1,99623E+30	1,004	5,11
hd20782b	585,86	1,360	1,9455E+30	0,979	1,8
Hd62509b	589,64	1,690	3,68542E+30	1,854	2,9
epsTaub	594,9	1,930	5,39244E+30	2,712	7,6
hd65216b	613,1	1,370	1,81593E+30	0,913	1,21
hd183263	634,23	1,520	2,3176E+30	1,166	3,69
hd141937	653,22	1,520	2,18481E+30	1,099	9,7
hd160691b	654,5	1,500	2,09149E+30	1,052	1,67
hd41004A	655	1,310	1,39102E+30	0,700	2,3
hd5319b	675	1,750	3,12234E+30	1,571	1,94
Gliese317b	692,9	0,950	4,74057E+30	0,238	1,2

hd11977b	711	1,930	3,77515E+30	1,899	6,54
hd47536b	712,13	1,610	2,18454E+30	1,099	4,96
Ngc24233b	714,3	2,100	4,81834E+30	2,424	10,6
hd23079	738,459	1,650	2,18676E+30	1,100	2,61
hd137510	778	1,830	2,68779E+30	1,352	25,63
hd186427	798,938	1,670	1,93698E+30	0,974	1,69
16Cyg Bb	799,5	1,680	1,96921E+30	0,991	1,68
hd4208	812,197	1,670	1,87425E+30	0,943	0,8
hd37124c	843,6	1,640	1,64535E+30	0,828	0,6
Hd70573b	851,8	1,760	1,99464E+30	1,003	6,1
Hd16175b	856	2,070	3,2134E+30	1,616	4,5
hd114386	872	1,620	1,48427E+30	0,747	0,99
hd45350	890,76	1,770	1,85524E+30	0,933	0,98
chephei b	902,26	2,030	2,72788E+30	1,372	1,59
hd128311c	919	1,760	1,71359E+30	0,862	3,21
hd213240	951	2,030	2,45543E+30	1,235	4,5
hd132406b	974	1,980	2,1721E+30	1,093	5,61
hd187085b	986	2,050	2,35239E+30	1,183	0,75
Hd159868	986	2,000	2,18443E+30	1,099	1,7
hd81040b	1001,7	1,940	1,93166E+30	0,972	6,86
Hd190674b	1038,1	2,070	2,18491E+30	1,099	1,9
hd10647	1040	2,100	2,27296E+30	1,143	0,91
hd10597	1077,906	2,130	2,20789E+30	1,111	6,12
hd95128b	1089	2,090	2,04355E+30	1,028	0,76
hd190228	1127	2,310	2,57626E+30	1,296	4,99
hd114729	1131,478	2,080	1,86595E+30	0,939	0,82
hd111232	1143	1,970	1,55349E+30	0,781	6,8
hd170469b	1145	2,240	2,2758E+30	1,145	0,67
Hd164922b	1155	2,110	1,86932E+30	0,940	0,36
V391pegb	1170	1,700	9,52744E+30	0,479	3,2
hd2039b	1192,582	2,190	1,96046E+30	0,986	4,85
hd136118	1209	2,300	2,20969E+30	1,112	11,9
Hd23127b	1214	2,400	2,48999E+30	1,253	1,5
hd50554b	1279	2,380	2,18772E+30	1,100	4,9
Hd11506b	1280	2,350	2,10274E+30	1,058	4,85
Ups And d	1284	2,530	2,60755E+30	1,312	3,75
hd196050	1289	2,500	2,49641E+30	1,256	3
hd216437b	1294	2,700	3,1205E+30	1,570	2,1
hd216437	1331,703	2,430	2,14786E+30	1,080	1,98

hd202206b	1383,4	2,550	2,29999E+30	1,157	2,44
hd216435	1442,919	2,700	2,50962E+30	1,262	1,49
hd12661c	1444,5	2,560	2,13445E+30	1,074	1,57
hd106252	1500	2,610	2,09768E+30	1,055	6,81
hd23596	1558	2,720	2,20076E+30	1,107	7,19
hd108874c	1605,8	2,680	1,98163E+30	0,997	1,018
hd168443c	1739,5	2,870	2,07395E+30	1,043	17,1
14herb	1796,4	2,800	1,8058E+30	0,908	4,74
Gliese849b	1890	2,350	9,64453E+29	0,485	0,82
hd142022A	1923	2,800	1,57586E+30	0,793	4,4
hd11964c	1940	3,167	2,24048E+30	1,127	0,7
Hd66428b	1973	3,180	2,19295E+30	1,103	2,82
Hd74156c	2025	3,400	2,54441E+30	1,280	6,17
hd39091b	2063,818	3,290	2,21945E+30	1,116	10,35
hd169830c	2102	3,600	2,80313E+30	1,410	4,04
hd38529c	2174,3	3,680	2,79837E+30	1,408	12,7
hd70642	2231	3,300	1,91665E+30	0,964	2
hd37124d	2295	3,190	1,63609E+30	0,823	0,66
hd33636	2447,292	3,560	1,99977E+30	1,006	9,28
eridani b	2502,1	3,300	1,52382E+30	0,767	0,86
hd50499b	2582,7	3,860	2,28884E+30	1,151	1,71
hd95128c	2594	3,730	2,04733E+30	1,030	0,76
hd117207	2627,08	3,780	2,07745E+30	1,045	2,06
hd74156c	2650	3,820	2,10717E+30	1,060	8,21
hd187123c	2750	3,951	2,165E+30	1,089	1,7
hd30177	2819,654	3,860	1,92031E+30	0,966	9,28
hd190360	2891	3,920	1,91321E+30	0,962	1,502
hd160691c	2986	4,170	2,15889E+30	1,086	3,1
hd50499	2990	4,403	2,53457E+30	1,275	1,84
hd89307	3090	4,150	1,98714E+30	1,000	2,73
hd217107c	3150	4,300	2,12709E+30	1,070	2,1
hd72659	3177,4	4,160	1,89294E+30	0,952	2,96
Jupiter	4331,865	5,200	1,98912E+30	1,001	1
55cncd	4517,4	5,257	1,8899E+30	0,951	3,92
Hd66428b	10900	9,210	1,74553E+30	0,878	2,03

Tabelle 9: Exoplaneten mit Mehrfachsystemen

Name	Periode/d	r/AE	Sternmasse / kg	Sternmasse /Sonnenmassen	Planetenmasse / Jupitermassen
Gliese876d	1,93776	0,021	6,36196E+29	0,320 ²¹²	0,023
Gliese876c	30,1	0,130	6,43722E+29	0,324	0,56
Gliese876b	60,94	0,208	6,41684E+29	0,323	1,935
Gliese581b	5,3683	0,041	6,25406E+29	0,320	0,0492
Gliese581c	12,932	0,073	6,18362E+29	0,311	0,0158
Gliese581d	83,6	0,25	5,93484E+29	0,299	0,0243
hd37124b	154,46	0,530	1,65652E+30	0,833	0,61
hd37124c	843,6	1,640	1,64535E+30	0,828	0,6
hd37124d	2295	3,190	1,63609E+30	0,823	0,66
hd128311b	448,6	1,099	1,75096E+30	0,881	2,18
hd128311c	919	1,760	1,71359E+30	0,862	3,21
hd155383b	195	0,628	1,72906E+30	0,87	0,89
Hd155383c	530,3	1,224	1,73102E+30	0,871	0,504
55cnc-e	2,81	0,038	1,84476E+30	0,928	0,045
55cnc-b	14,67	0,115	1,87601E+30	0,944	0,784
55cnc-c	43,93	0,240	1,90157E+30	0,957	0,217
55cnc-f	260	0,781	1,86354E+30	0,937	0,144
55cnc-d	4517,4	5,257	1,8899E+30	0,951	3,92
Hd14810b	6,6742	0,069	1,97479E+30	0,993	3,84
Hd14810c	95,2914	0,407	1,97096E+30	0,991	0,76
hd108874b	395,4	1,051	1,97122E+30	0,992	1,36
hd108874c	1605,8	2,680	1,98163E+30	0,997	1,018

²¹² Die jeweiligen Planeten die einen Stern umkreisen, haben natürlich die gleiche Masse. Die Schwankungen der Masse sind demnach Meßungenauigkeiten.

hd95128b	1089	2,090	2,04355E+30	1,028	2,54
hd95128c	2594	3,730	2,04733E+30	1,030	0,76
hd168443b	58,1	0,295	1,91692E+30	1,016	7,2
hd168443c	1739,5	2,870	2,07395E+30	1,043	17,1
hd217107b	7,127	0,074	2,11785E+30	1,065	1,3
hd217107c	3150	4,300	2,12709E+30	1,070	2,1
hd160691d	9,55	0,090	2,12189E+30	1,067	0,044
Hd160691e	310,55	0,921	2,15039E+30	1,082	0,5219
hd160691b	654,5	1,500	2,09149E+30	1,052	1,67
hd160691c	2986	4,170	2,15889E+30	1,086	3,1
hd187123b	3,097	0,042	2,05053E+30	1,031	0,52
hd187123c	2750	3,951	2,165E+30	1,089	1,7
hd73526b	190,5	0,66	2,10302E+30	1,058	3,0
Hd73526c	377,8	1,05	2,15301E+30	1,083	2,5
hd12661b	263,6	0,830	2,18446E+30	1,099	2,3
hd12661d	1444,5	2,56	2,13445E+30	1,074	1,57
hd82942b	219	0,746	2,29789E+30	1,156	2,01
Hd82942c	441,2	1,19	2,29811E+30	1,156	1,7
hd202206c	255,87	0,830	2,31844E+30	1,166	17,4
hd202206b	1383,4	2,550	2,29999E+30	1,157	2,44
hd74156b	51,642	0,294	2,52951E+30	1,272	1,86
Hd74156d	346,6	1,04	2,48567E+30	1,250	0,396
Hd74156c	2025	3,400	2,54441E+30	1,280	6,17

Ups And b ²¹³	4,617	0,059	2,55752E+30	1,286	0,69
Ups And c	241,5	0,829	2,59317E+30	1,304	1,89
Ups And d	1284	2,530	2,60755E+30	1,312	3,75
hd169830b	225,62	0,810	2,77141E+30	1,394	2,88
hd169830c	2102	3,600	2,80313E+30	1,410	4,04
hd38529b	14,308	0,129	2,78364E+30	1,400	0,78
hd38529c	2174,3	3,680	2,79837E+30	1,408	12,7

²¹³ Ups And b wird in der Masse des Sterns in die Stufe von 1,3 Sonnenmassen eingeordnet, weil seine beiden Partner über dieser grenze liegen.

Tabelle 10: Sternspektren und Masse (10.)²¹⁴

Tabelle 6.1: Spektrum (Spk), Oberflächentemperatur (T), Leuchtkraft (L), Masse (M) und Radius (R) der Hauptreihensterne.

Spk	T (K)	$L(L_{\odot})$	$M(M_{\odot})$	$R(R_{\odot})$
O7	38000	140000.	27.	8.5
B0	32000	16000.	16.	5.7
B3	17000	2500.	8.3	4.8
B5	15000	750.	5.4	3.7
B8	12500	130.	3.5	2.7
A0	9500	63.	2.6	2.3
A2	9000	40.	2.2	2.0
A5	8700	24.	1.9	1.8
A7	8100	11.	1.8	1.7
F0	7400	9.	1.6	1.5
F2	7100	6.3	1.5	1.3
F5	6400	4.	1.35	1.2
F8	6100	2.5	1.2	1.1
G0	5900	1.45	1.08	1.05
G2 $\odot$	5800	1.00	1.0	1.0
G5	5600	0.70	0.95	0.91
G8	5300	0.44	0.85	0.87
K0	5100	0.36	0.83	0.83
K2	4830	0.28	0.78	0.79
K5	4370	0.18	0.68	0.74
K8	3900	0.12	0.58	0.67
M0	3670	0.075	0.47	0.63
M2	3400	0.03	0.33	0.36
M3	3300	0.014	0.26	0.29
M4	3200	0.005	0.2	0.21

²¹⁴ James B. Kaler: „Sterne“ 1993 Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg
S. 47, Tabelle

Tabelle 11: Massen von Hauptreihensternen mit Exoplaneten²¹⁵

Name	Periode/d	r/AE	Spektraltyp	Delta-Masse in Sonnenmas sen	Sternmasse in Sonnenmas sen	Masse nach Spektrum
Gliese876c	30,1	0,130	M4 V	0,124	0,324	0,20
Gliese876b	60,94	0,208	M4 V	0,123	0,323	0,20
gliese876d	1,93776	0,021	M4 V	0,12	0,320	0,20
Gliese541b	5,366	0,041	M3	0,06	0,320	0,26
GJ436b	2,6441	0,028	M2,5	0,11	0,410	0,30
hd63454b	2,81782	0,036	K4 V	0,06	0,785	0,715
hd93083	143,58	0,477	K3 V	-0,047	0,703	0,75
hd114386	872	1,620	K3 V	0	0,747	0,75
hd162020	8,4242	0,072	K2 V	-0,078	0,702	0,78
hd99492	17,038	0,119	K2 V	0	0,775	0,78
hd27894b	17,991	0,122	K2 V	-0,031	0,749	0,78
hd192263	24,348	0,150	K2 V	-0,02	0,760	0,78
chephei b	902,26	2,030	K2 V	0,592	1,372	0,78
eridani b	2502,1	3,300	K2 V	-0,013	0,767	0,78
hd189733b	2,218574	0,031	K1/K2	0,022	0,832	0,81
hd13445	15,766	0,110	K1 V	-0,095	0,715	0,81
hd101930b	70,46	0,302	K1 V	-0,069	0,741	0,81
hd216770	118,45	0,460	K1 V	0,096	0,926	0,81
hd41004A	655	1,310	K1 V	-0,11	0,700	0,81
hd188753A	3,3481	0,045	K0	0,227	1,057	0,83
Otr113b	1,4325	0,023	K	-0,059	0,771	0,83
hd83443	2,985	0,040	K0 V	0,129	0,959	0,83
hd179949	3,092	0,040	K0 V	0,064	0,894	0,83
hd102195b	4,115	0,049	K0 V	0,098	0,928	0,83
hd118203b	6,1335	0,070	K0	0,387	1,217	0,83
hd130322	10,724	0,088	K0 V	-0,039	0,791	0,83
hd37605b	55	0,250	K0 V	0,14	0,690	0,83
hd3651	62,23	0,284	K0 V	-0,04	0,790	0,83
hd177830b	391	1,000	K0	0,043	0,873	0,83

²¹⁵ Diese Tabelle ist eine eigene Auswertung aus „Extrasolar Planets Catalog“ Observatoire de Paris und „California & Carnegie Planet Search“ (p) Es sind nur Hauptreihensterne zusammengefasst.

hd128311b	448,6	1,099	K0	0,051	0,881	0,83
hd114783	501	1,200	K0	0,089	0,919	0,83
hd128311c	919	1,760	K0	0,032	0,862	0,83
14herb	1796,4	2,800	K0 V	0,078	0,908	0,83
hd142022A	1923	2,800	K0 V	-0,037	0,793	0,83
O-TR-10b	3,1013	0,042	G or K	0,169	0,999	0,83
otr111b	4,0161	0,047	G or K	0,03	0,860	0,83
hd73256	2,549	0,037	G8/K0	0,192	1,042	0,85
55cnce	2,81	0,038	G8 V	0,078	0,928	0,85
55cncb	14,67	0,115	G8 V	0,094	0,944	0,85
55cncc	43,93	0,240	G8 V	0,097	0,957	0,85
hd111232	1143	1,970	G8 V	-0,069	0,781	0,85
hd117207	2627,08	3,780	G8 IV-V	0,195	1,045	0,85
hd30177	2819,654	3,860	G8 V	0,113	0,966	0,85
55cncd	4517,4	5,257	G8 V	0,101	0,951	0,85
hd76700	3,971	0,049	G6 V	0,076	0,996	0,92
hd102117	20,67	0,149	G6 V	0,114	1,034	0,92
GJ3021b	133,82	0,490	G6 V	-0,043	0,877	0,92
hd73526	190,5	0,660	G6 V	0,138	1,058	0,92
hd202206	255,87	0,830	G6 V	0,246	1,166	0,92
hd12661b	263,6	0,830	G6 V	0,179	1,099	0,92
hd202206b	1383,4	2,550	G6 V	0,237	1,157	0,92
hd12661c	1444,5	2,560	G6 V	0,154	1,074	0,92
hd190360	2891	3,920	G6 IV	0,042	0,962	0,92
hd187123b	3,097	0,042	G5	0,081	1,031	0,95
hd330075	3,369	0,043	G5	-0,015	0,935	0,95
hd2638b	3,4442	0,044	G5	0,009	0,959	0,95
hd49674	4,948	0,057	G5 V	0,041	0,999	0,95
hd168746	6,403	0,065	G5	-0,056	0,894	0,95
hd4308b	15,56	0,114	G5 V	-0,133	0,817	0,95
hd11964b	37,82	0,229	G5	0,181	1,121	0,95
hd168443b p ²¹⁶	58,1	0,295	G5	0,066	1,016	0,95
hd178911	71,487	0,320	G5	-0,094	0,856	0,95
hd80606	111,78	0,439	G5	-0,046	0,904	0,95
hd134987	260	0,780	G5 V	-0,013	0,937	0,95
hd92788b	377,7	0,970	G5	-0,096	0,854	0,95
hd28185	383	1,030	G5	0,045	0,995	0,95

²¹⁶ Die mit „p“ bezeichneten Exoplaneten sind aus dem „California & Carnegie Planet Search“ hinzugefügt oder ausgetauscht.

hd108874b	395,4	1,051	G5	0,042	0,992	0,95
hd154857	398,5	1,110	G5	0,2	1,150	0,95
hd4203	400,944	1,090	G5	0,126	1,076	0,95
hd147513	540,4	1,260	G3/G5 V	-0,035	0,915	0,95
hd222582	572	1,350	G5	0,054	1,004	0,95
hd65216b	613,1	1,370	G5 V	-0,037	0,913	0,95
hd4208	812,197	1,670	G5 V	0	0,943	0,95
hd108874c	1605,8	2,680	G5	0,047	0,997	0,95
hd168443c	1739,5	2,870	G5	0,093	1,043	0,95
hd70642	2231	3,300	G5 IV-V	0,014	0,964	0,95
hd10366	3,488	0,046	G4 V	0,098	1,068	0,97
hd117176	116,689	0,480	G4 V	0,115	1,085	0,97
hd37124c	154,46	0,530	G4	-0,137	0,833	0,97
hd37124c	843,6	1,640	G4 V	-0,142	0,828	0,97
hd37124d	2295	3,190	G4 V	-0,147	0,823	0,97
hd160691d	9,55	0,090	G3 IV-V	0,073	1,067	0,99
hd195019	18,3	0,140	G3 IV-V	0,104	1,094	0,99
hd160691b	654,5	1,500	G3 IV-V	0,062	1,052	0,99
hd81040b	1001,7	1,940	G2/G3	-0,018	0,972	0,99
hd114729	1131,478	2,080	G3 V	0,051	0,939	0,99
hd196050	1289	2,500	G3 V	0,266	1,256	0,99
hd160691c	2986	4,170	G3 IV-V	0,096	1,086	0,99
rhoCrBb	39,845	0,220	G0 or G2	-0,104	0,896	1
hd117618	52,2	0,280	G2 V	0,076	1,076	1
hd121504	64,6	0,320	G2 V	0,049	1,049	1
hd208487b	123	0,490	G2	0,038	1,038	1
hd183263	634,23	1,520	G2 IV	0,166	1,166	1
hd141937	653,22	1,520	G2/G3 V	0,099	1,099	1
Jupiter	4331,865	5,200	G 2,5 V	0	1,001	1
hd142415	386,3	1,050	G1 V	0	1,036	1,04
otr56b	1,2119	0,023	G	-0,044	1,036	1,08
hd75289	3,51	0,046	G0 V	-0,025	1,055	1,08
hd209458	3,525	0,045	G0 V	-0,111	0,979	1,08
hd68988	6,276	0,071	G0	0,133	1,213	1,08
hd74156-	51,642	0,294	G0	0,192	1,272	1,08
hd52265	118,96	0,490	G0 V	0,03	1,110	1,08
hd34445b	126	0,510	G0	0,036	1,116	1,08
hd82943c	219	0,746	G0	0,076	1,156	1,08
hd150706	264	0,820	G0	-0,024	1,056	1,08
hd17051	311,288	0,910	G0 V per.	-0,042	1,038	1,08

hd210277	435,6	1,097	G0	-0,151	0,929	1,08
hd82943c	441,2	1,190	G0	0,076	1,156	1,08
hd20367b	500	1,250	G0	-0,037	1,043	1,08
hd95128b p	1089	2,090	G0 V	-0,052	1,028	1,08
hd216435	1442,919	2,700	G0 V	0,182	1,262	1,08
hd106252	1500	2,610	G0 V	-0,025	1,055	1,08
Hd74156c	2025	3,400	G0	0,2	1,280	1,08
hd33636	2447,292	3,560	G0 V	-0,074	1,006	1,08
hd89307	3090	4,150	G0 V	-0,08	1,000	1,08
hd72659	3177,4	4,160	G0 V	-0,128	0,952	1,08
hd114762	83,89	0,350	F9 V	-0,326	0,814	1,14
hd136118	1209	2,300	F9 V	-0,028	1,112	1,14
Otr132b	1,69	0,031	F ?	0,14	1,340	1,2
hd212301b	2,457	0,036	F8 V	-0,168	1,032	1,2
Ups And b ²¹⁷	4,617	0,059	F8 V	0,076	1,286	1,2
hd108147	10,901	0,104	F8/G0 V	0,064	1,264	1,2
hd8574	228,8	0,760	F8	-0,08	1,120	1,2
hd169830- p	225,62	0,810	F8 V	0,194	1,394	1,2
Ups And c-	241,5	0,829	F8 V	0,104	1,304	1,2
hd40979	267,2	0,811	F8 V	-0,202	0,998	1,2
hd19994	454	1,300	F8 V	0,223	1,423	1,2
hd10647	1040	2,100	F8 V	0,057	1,143	1,2
hd50554	1279	2,380	F8	-0,1	1,100	1,2
Ups And d	1284	2,530	F8 V	0,112	1,312	1,2
hd23596	1558	2,720	F8	-0,093	1,107	1,2
hd169830c	2102	3,600	F8 V	0,21	1,410	1,2
TrES-1	3,030065	0,039	F7 V	-0,417	0,883	1,25
hd120136	3,314	0,046	F7 V	-0,067	1,183	1,25
hd89744	256,605	0,890	F7 V	0,18	1,430	1,25
hd33564	388	1,100	F6 V	-0,119	1,181	1,3

²¹⁷ Ups And b wird in der Masse des Sterns in die Stufe von 1,3 Sonnenmassen eingeordnet, weil seine beiden Partner über dieser Grenze liegen.

Liste von Grafiken und Tabellen

Grafiken

	Seite
Grafik 1: Rotation der Asteroidenklassen	22, 68
Grafik 2: Größenveränderung in der Jungsternphase	27
Grafik 3: Rotation von Jungsternen	29, 128
Grafik 4: Neutrinohäufigkeit und Sonnenfleckentätigkeit	30, 120
Grafik 5: Klassen der Asteroiden und Sonnenabstand	32
Grafik 6: Asteroiden und ihre Inklination	33
Grafik 7: Häufigkeit und Perioden der Exoplaneten	37, 104
Grafik 8: Durchmesser von Gasplaneten und Braunen Zwergen	38
Grafik 9: Differenzielle Rotation im Sonneninneren	40
Grafik 10: Gasrotation von Jupiter und Saturn	41
Grafik 11: Kollabierende Gaswolke	44
Grafik 12: Staubbänder im Asteroidengürtel	48
Grafik 13: Kondensationstemperaturen verschiedener Mineralien	49
Grafik 14: Häufigkeitsverteilung der Sonnenflecken	61
Grafik 15: Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonne	63
Grafik 16: Eisenhäufigkeit bei Sternen mit Exoplaneten	64
Grafik 17: Kuiper-Gürtel und Plutinos	70
Grafik 18: Inklinationen der Körper im Kuiper-Gürtel	72
Grafik 19: Langperiodische Kometen	74
Grafik 20: Die Kometenfamilien der Planeten	75
Grafik 21: Kurzperiodische Kometen	76
Grafik 22: Magnetische Eigenschaften des Mondgesteins	82
Grafik 23: Einschlagkrater beim Erdmond	83
Grafik 24: Kalium-Lanthan-Anteil im inneren Sonnensystem	86
Grafik 25: Magnetachsen von Uranus und Neptun	92, 161
Grafik 26: Häufigkeit und Masse von Sternen mit Exoplaneten	104
Grafik 27: Exoplaneten bei Sternen mit 0,3-0,4 Sonnenmassen	106
Grafik 28: Exoplaneten bei Sternen mit 0,7 Sonnenmassen	107
Grafik 29: Exoplaneten bei Sternen mit 0,8 Sonnenmassen	107
Grafik 30: Exoplaneten bei Sternen mit 0,9 Sonnenmassen	108
Grafik 31: Exoplaneten bei Sternen mit einer Sonnenmasse	108
Grafik 32: Exoplaneten bei Sternen mit 1,1 Sonnenmassen	108

	Seite
Grafik 33: Exoplaneten bei Sternen mit 1,2 Sonnenmassen	109
Grafik 34: Exoplaneten bei Sternen mit 1,3 -1,4 Sonnenmassen	109
Grafik 35: Exoplaneten ab Sternen mit 1,5 -1,7 Sonnenmassen	110
Grafik 36: Exoplaneten an Sternen mit 1,8 Sonnenmassen	110
Grafik 37: Häufigkeit der visuellen Doppelsterne (Sternmasse)	112
Grafik 38: T-Tauristerne im HRD	117
Grafik 39 Rotation ab den F-Sternen	119
Grafik 40: Jungsterne auf der Hauptreihe	121
Grafik 41: Bahnparameter von Exoplaneten und Doppelsternen	124
Grafik 42: Häufigkeit von visuellen Doppelsternen	127
Grafik 43: Veränderliche Sterne im HRD	133
Grafik 44: Massenreiche Sterne oberhalb der Hauptreihe	135
Grafik 45: Leuchtkraftklassen im HRD	137
Tabellen	
Tabelle 1: Wärmefluss von Körpern im Sonnensystem	21
Tabelle 2: Kondensationspunkt von Mineralien	25
Tabelle 3: Die Monde des Saturns	70
Tabelle 4: Monde der Planeten	166f
Tabelle 5: Daten über Planeten	168
Tabelle 6: Daten zu den Monden in unserem Sonnensystem	169
Tabelle 7: Eigenschaften der Chemische Elemente	172ff
Tabelle 8: Exoplaneten und Sternmassen	174f
Tabelle 9: Exoplaneten mit Mehrfachsystemen	181f
Tabelle 10: Sternspektren und Masse	184
Tabelle 11: Massen von Hauptreihensternen mit Exoplaneten	185ff
Diagramm 1: Perioden und Sternmassenverhältnis von Exoplaneten	113
Zeichnung 1: Tropfenbewegung in der Gasscheibe eines Sterns	52

Literatur

„Astronomie I“ Ernst Klett Stuttgart Friedrich Gondolatsch, 1. Auflage 1977,

Brandt, John C. / Chapman Robert D.: „Die Erforschung der Kometen“, Inselverlag Frankfurt am Main und Leipzig, erste Auflage 1987. Originalausgabe W. H. Freeman and Company, New York, USA 1992

Bühler, Rolf W.: „Meteorite“ Urmaterial aus dem interplanetaren Raum Weltbild Verlag GmbH, Augsburg Birkhäuser Verlag Basel 1992

Prof. Dr. Fahr, Dr. Willerding: „Die Entstehung von Sonnensystemen“ Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin 1998

Gritzner, Christian: „Kometen und Astroiden“ AVIATIC VERLAG GmbH, Oberhachingen 1999

Habing, Harm J. / Neugebauer, Gerry: „Der Infrarot Himmel“ Spektrum der Wissenschaft, Verständliche Forschung Heidelberg 1986

Herrmann, Joachim: „Atlas zur Astronomie“ Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 6. durchgesehene Auflage vom Dezember 1980

Kaler, James B.: „Sterne“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg 1993

Kaler, James B.: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford 1994

Dr. Krautter, Joachim / Prof. Dr. Sedlmayr, Erwin / Dr. Schaifers, Karl / Prof. Dr. Traving, Gerhard: „Meyers Handbuch Weltall“, 7. Auflage, Meyers Lexikonverlag Mannheim Leipzig Wien Zürich 1994

Prof. Lang, Kenneth R., Prof. Whitney, Charles A.: „Planeten - Wanderer im All“, Cambridge University Press 1991

Prof. Lang, Kenneth R.: „Die Sonne, Stern unserer Erde“ Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1995

Moore, Patrick / Hunt, Garry / Nicolson, Iain / Cattermole, Peter: „Atlas des Sonnensystems“ Mitchell Beazley Publishers 1983

Sfountouris, Argyris: „Kometen - Meteore - Meteoriten" Albert Müller Verlag, AG, Rüschlikon Zürich 1986

Morrison, David: „Planetenwelten“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin Oxford 1995

Nigel, Henbest / Heather Couper: „Die Milchstraße“ Birkhäuser Verlag Basel Boston Berlin

Prof. Dr. Scheffler, Helmut / Landessternwarte Heidelberg-Königsstuhl, Prof. Dr. Hans Elsässer, Max-Planck-Institut für Astronomie Heidelberg: „Physik der Sterne und der Sonne“, Wissenschaftsverlag Mannheim-Wien-Zürich, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage 1990

Smoluchowski, Roman: „Das Sonnensystem – Ein G2V-Stern und 9 Planeten“ Scientific American Books, Inc, New York, 1983

Schulz, Ludolf: „Planetologie eine Einführung“, Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag, 1993

F. G. Surdin / S. A. Lamzin: „Protosterne“, Johann Ambrosius Bath Verlag Heidelberg

A. Unsöld / B. Baschek: „Der neue Kosmos“ 7. Auflage, Einführung in die Astronomie und die Astrophysik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York 2002

Wischnewski Erik: „Astronomie für die Praxis“, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Zeitschriften:

„Kosmos“ Franckh Kosmos Verlag GmbH&Co. Stuttgart

Spektrum der Wissenschaft

Sterne und Weltraum

Süddeutsche Zeitung,

Frankfurter Zeitung

Ein neues Atommodell

Vorwort zum Atom

Mit den Problemen der Quarks wollte mich eigentlich nicht beschäftigen. Ich habe ein Thema in meinem Leben gewählt, und das ist das Thema der Planetenforschung. Damit war auch die Sternentstehung verbunden. Also hatte ich eigentlich genug zu tun. Im Frühling 2007 hatte es mich doch zu interessieren begonnen, habe mich aber nur etwas mehr als 2 Monate mit dem Thema beschäftigt.

In der Erklärung der Quarks wähle ich Bilder, die sich von der Welle ableiten. Alle Quarks und auch das Elektron sind aufgerollte Wellen. Der neue Gedanke liegt darin sich die Quarks um das gemeinsame Zentrum drehen und an das Elektron an sie gebunden ist. Es gleicht einem Energiedefizit zu einer Seite des Protons aus. Weil sich alle Teilchen einen Spin haben stoßen sie sich ab. So erklärt man, warum Elektronen nicht zusammen kommen können, und warum es sich dem Atomkern nicht all zu stark nähern kann. Die Drehung der Quarks um ein gemeinsames Zentrum erzeugt ein Kraftfeld, was diese wiederum zusammen hält. In diesen wenigen Sätzen ist das Grundlegende gesagt. Wie der Aufbau der Elemente und ihrer Eigenschaften zu erklären ist, wird in der Abhandlung geklärt.

Die Arbeit zu den Planeten und Sternen ist im Netz unter www.nowa-space.de zu finden.

Volkhard Radtke, Bochum, der 7. Jan. 2008

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort zum Atom	193
Das Atom.....	197
1. Entstehung der Atome	197
1.1. Der Atomkern.....	197
1.2. Das Elektron und seine Entstehung.....	198
1.3. Das Elektron und die Positionen der Quark	198
1.4. Ladungsverteilung oder Ladungsverhalten und Radius	198
1.5. Abstand des Elektrons vom Atomkern.....	199
1.6. Entstehung der Atomkerne	199
1.7. Das Top-Quark und das Bottom-Quark	201
1.8. Atome und Antiteilchen im frühen Universum.....	201
1.9. Teilchenentstehung, Materie und Antimaterie	202
2. Die Elemente	203
2.1. Die erste Schale im Atomkern	203
2.1.1. Vom Wasserstoff zum Deuterium.....	203
2.1.2. Vom Tritium zum Helium.....	203
2.1.3. Helium und das Elektron.....	204
2.2. Die weiteren Schalen im Atomkern	206
2.2.1. Vom Helium über das Lithium hinaus	206
2.2.2. Struktur der zweiten Schale.....	207
2.2.3. Das 4. und 5. Proton auf der 2. und 3. Schale	209
2.2.4. Die drei Schalen des Atomkerns	210
2.2.5. Die 4. und 5. Schale des Atomkerns	211
2.2.6. Die Fusionsstufen der Sterne.....	211
3.1. Energie, Ladung und wirkende Kräfte	212
3.1.1. Die Energie des Elektrons auf seinen Schalen	212
3.1.2. Die Bedeutung der Kräfte der einzelnen Teilchen	212
3.1.3. Das Grundlegende der unterschiedlichen Ladungen des Atoms.....	213
3.1.4. Entwicklung der Atome in der Geschichte des Universums.....	213
3.1.5. Ladung und Gravitation - ein Erklärungsversuch	214
4. Der kurze Zusammenhang	215

4.1. Kräfte im Atomkern, der Spin, die Ladung und das Elektron.....	215
5.1. Tabellen.....	216
5.2. Bilder- und Grafikverzeichnis.....	219
5.3. Textquellen.....	220

Das Atom

1. Entstehung der Atome

1.1. Der Atomkern

Vom Atomkern weiß man heute, dass es aus zwei Arten von Quarks besteht. Es gibt Up-Quarks und Down-Quarks. Der wesentliche Gedanke liegt darin, dass diese drei Quarks von Proton und Neutron sich einmal um sich selber drehen. Damit haben sie einen Spin, genau so wie das Elektron. Der zweite Punkt liegt darin, dass sie sich um ein gemeinsames Zentrum drehen (Bild 1).

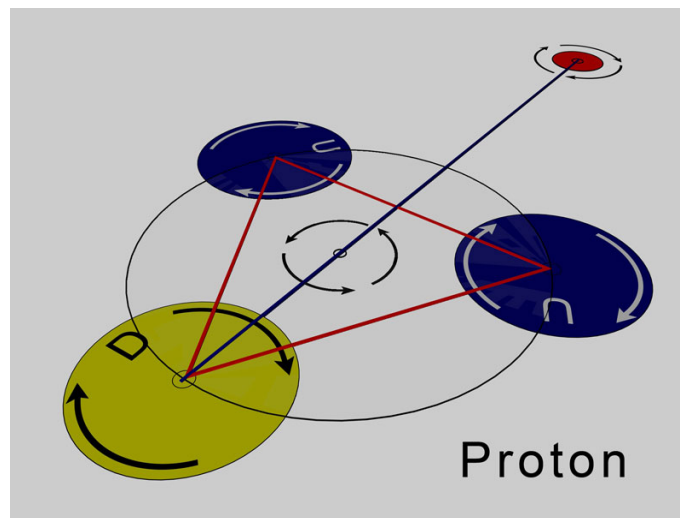


Bild 1: Die Quarks im Proton und das Elektron

Der Spin ist allgemein die abstoßende Kraft aller Arten von Quarks und des Elektrons. Diese Drehrichtung wurde in der Physik mit der negativen Ladung bezeichnet. Er ist einzig und allein abhängig von der Größe der Energiemenge. Die Quarks würden sich abstoßen, wenn sie nicht von einer weiteren Kraft zusammengehalten würden. Diese Kraft ergibt sich aus der Drehrichtung der drei Quarks um das gemeinsame Zentrum. Das erklärt sich damit, dass die Drehrichtung um das gemeinsame Zentrum genau umgekehrt ist zu der Drehrichtung der Quarks um ihre eigene Achse. Damit entsteht eine Gegenkraft in der Ladung, die die abstoßende Kraft aufhebt. Das gemeinsame Feld hat daher eine andere Ladung als die einzelnen Quarks.

Aufgrund ihrer Entstehung bilden sie sich immer 3 Quarks in unmittelbarer Nähe zueinander und bilden den Atomkern. Wären die Quarks größer, was in der Natur auch vorgekommen ist, müssten sie eine höhere Rotation um ihr gemeinsames Zentrum erlangen. Wenn die Energie-Menge der einzelnen Quarks jedoch größer wird, nimmt die mögliche Geschwindigkeit der Quarks um das gemeinsame Zentrum ab. Damit ist das erzeugte Energiefeld zu klein und ein solches Atom zerfällt. Das Neutron liegt leicht über dieser Grenze und zerfällt nach 700 Sekunden, das Proton liegt unterhalb der Grenze und ist stabil (13.19).²¹⁸.

²¹⁸ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

1.2. Das Elektron und seine Entstehung

Das Proton und das Elektron entstehen aus dem Zerfall des Neutrons in ein Proton. Das Neutron hat eine etwas höhere Energie als das Proton und besteht aus einem Up-Quark zwei Down-Quarks (Grafik 2). Die etwas größere Masse bedeutet auch, dass die Quarks etwa zu viel Energie haben. Damit erreichen sie eine nicht so hohe Geschwindigkeit um ihr gemeinsames Zentrum und zerfallen, weil die Ladung nicht ausreicht. Aus einem Down-Quark wird dadurch ein Up-Quark Energie wird in Form von Strahlung abgegeben und zusätzlich bildet sich das Elektron.

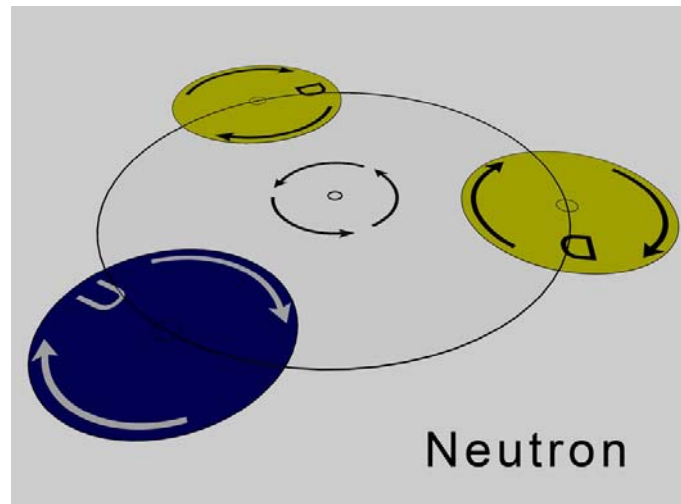


Bild 2: Das Neutron

Das Elektron hat die gleiche Drehrichtung, wie die Quarks. Damit haben sie auch eine gleiche Ladung. Da sich aber die Quarks im Atomkern anders herum drehen, ist ihre Ladung umgekehrt. Damit erzeugen sie ein umgekehrtes Kraftfeld, was sie zusammen hält, aber auch das Elektron anzieht. Das Plus und Minus in der Ladung ist demnach nur eine Sache der Drehrichtung von Wellen oder Energiepaketen, wie den Quarks.

1.3. Das Elektron und die Positionen der Quark

Für mich blieb noch die Frage, ob das Elektron an die Quarks gebunden ist. Wenn zwei Quarks geringerer Energie sind, ist ihre negative Ladung etwas kleiner. Da die Quarks in ihrer Bewegung um den gemeinsamen Kern eine konstante Geschwindigkeit haben, hat auch das Feld eine konstante positive Ladung. Auf Seiten der Up-Quarks, die die schwächeren sind, ist daher die Ladung mehr positiv. Das Elektron setzt sich daher auf Seiten der Up-Quark. Damit ist es nicht nur an einen Radius gebunden, sondern auch an einen Punkt auf diesem Radius.

1.4. Ladungsverteilung oder Ladungsverhalten und Radius

Betrachtet man die Ladungsverteilung von Proton und Neutron, so ist sie generell vom Radius abhängig. Die Quarks erzeugen dabei ein positives Feld. Da sie selber einen Durchmesser haben, hat das Zentrum der jeweiligen Quarks einen bestimmten Abstand vom Kern. In diesem Zentrum ist daher auch die größte Ladung. So findet man bei 0,4 r/fm für Proton und Neutron eine positive Ladung. Die

Ladung beim Proton ist insgesamt über den wachsenden Abstand zum Kern etwas positiver (Grafik 1). Wesentlich ist dabei, dass Proton wie Neutron eine positive Ladung auf speziellem Radius erzeugen.

Wenn sich Quarks von einander entfernen, drehen sie schneller, weil ihre abstoßende Ladung abnimmt. Dadurch, dass sie im Paket gegeneinander drehen, bremsen sie sich in der Nähe. Das bedeutet, die Ladung erhöht sich bei der Trennung von Quarks, denn sie drehe sich damit schneller um das gemeinsame Zentrum. Das ist auch der Grund warum das Atom zusammen hält.

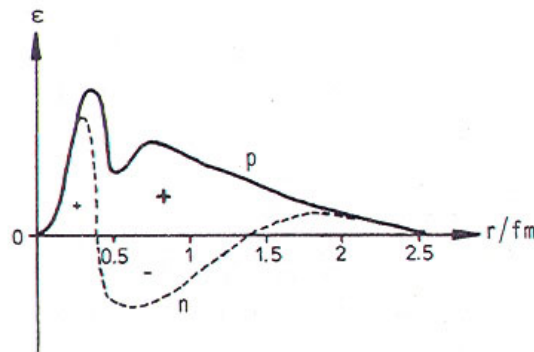


Abb. 2-2: Ladungsdichteverteilung

Grafik 1: Atomkern, Radius und Ladungsverteilung. (13.22.)²¹⁹

1.5. Abstand des Elektrons vom Atomkern

Betrachtet man die Ladung der Elektronen in Bezug auf den Atomkern, so kommt eine Frage auf. Warum hat das Elektron einen so großen Abstand vom Atomkern? Die Quarks selber sind, wie das Elektron, negativ. Demnach stoßen sie sich ab. Da aber die Bewegungsrichtung um den gemeinsamen Kern anders ist, ergibt sich daraus die entgegengesetzte Ladung. Diese Ladung überwiegt die erste und ist damit der anziehende Faktor für das Elektron. Der große Abstand ist demnach ein Resultat aus der Energiemenge der einzelnen Quarks. Da sie gegenüber dem Elektron so groß ist, ergibt sich auch der große Abstand untereinander. Der wesentliche Gedanke liegt darin, dass die Kräfte im Kern von zwei Ladungen bestimmt werden. Es herrschen demnach zwei Kräfte.

1.6. Entstehung der Atomkerne

Nun stellt sich die Frage, wie Proton und Neutron entstehen. - Die Strahlung im Universum war am Anfang von unheimlich großer Energie. Sie hatte alle möglichen Richtungen. Das Ideale wäre, wenn sich Wellen genau aus drei Richtungen kommend auf ein Zentrum bewegten. Sie müssten genau um 120° versetzt aufeinander treffen. Die Energie wäre damit so hoch, dass sie sich an den anderen Wellen beugen und dann aufrollen.

²¹⁹ Erik Wischniewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

Die Ladungsverteilung von Proton und Neutron im Bezug auf den Radius ist in einem bestimmten Abstand positiv. - S. 19

Das einzelne Quark bekommt damit eine Drehung, um sich selber und es dreht sich in anderer Richtung um das gemeinsame Zentrum (Bild 3). Die Bewegungsrichtung der Welle und die Bewegungsrichtung der Quarks sind umgekehrt. Aus der Masse der Quarks ergibt sich eine bestimmte Geschwindigkeit um das Zentrum. Durch die beiden Drehrichtungen werden zwei Ladungen erzeugt. Das Quark selber ist wie das Elektron negativ geladen, weil die Drehrichtung die gleiche ist. Die Drehrichtung um das gemeinsame Zentrum erzeugt die positive Ladung. Beide Ladungen heben sich auf, und haben damit ihren Zusammenhang.

Voraussetzung zur Bildung eines Atoms sind zwei gleiche Winkel. Damit sind die am ungleichen Winkel anliegenden Energiewellen in den Kräften auch gleicher Größe. Das ist der Grund, warum immer zwei gleiche Quarks entstehen.

Der dritte Winkel χ der Energiewelle ist größer als 120° und bildet die beiden Down-Quarks. Damit erhält man ein Neutron (Bild 4). Dieser Winkel ist auf die Energie des Quarks quantisiert. Er muss um einen bestimmten Betrag größer sein, damit die Wicklung um eine Windung kleiner ist.

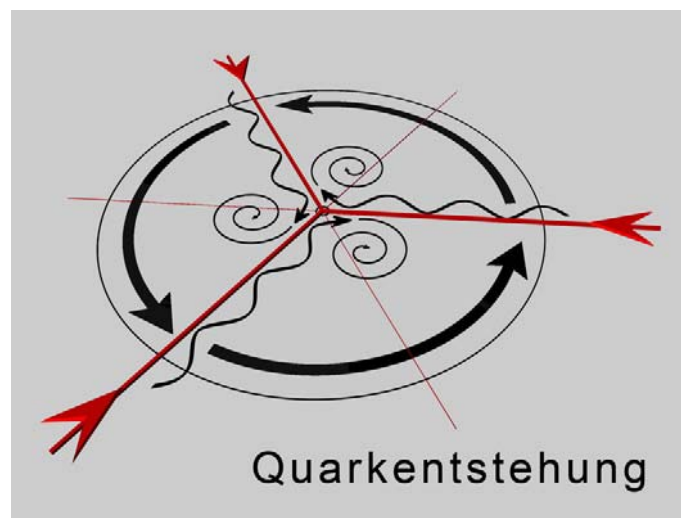


Bild 3: Entstehung der Quarks

Das Neutron besteht aus zwei größeren Quarks und einem kleineren Quark. Eines der großen Quarks zerfällt und winkelt diese eine Windung ab. So entsteht aus einem d-Quark ein u-Quark, weil auch die Quarks quantisiert sind. Das erklärt, warum zwei gleiche Quarks beim Proton existieren.

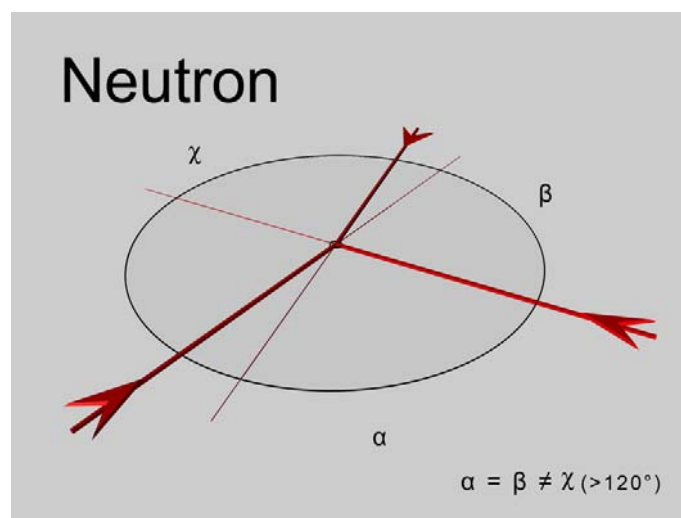


Bild 4. Entstehung des Neutrons

Das Neutron ist aus dem Grunde nicht stabil, weil seine Quarks eine etwas zu große Masse (Energie) besitzen. Die Geschwindigkeit der Quarks ist zu klein, um ein Energiefeld zu erzeugen, was den Zusammenhalt der abstoßenden Kräfte ausgleicht. Daher zerfällt das Neutron nach 700 Sekunden.

Das Proton ist ein Zerfallsprodukt des Neutrons. Aus einem Down-Quark wird ein Up-Quark. Damit ist Energie über. Daraus bilden sich das Elektron und die Strahlung. Das ist das erste stabile Teilchen.

Wenn nun das Neutron zerfällt, wickelt es nur eine Wicklung des d-Quarks ab. Damit entsteht das Proton. Dieser Zerfallsprozess erklärt sich demnach über die Quantisierung.

Das Neutron hat eine „Schwäche“. Es kann sich kein Elektron anlagern. Das Proton hat zwei „Schwächen“. Nur zwischen diesen zwei „Schwächen“ hat das Elektron als Ladungsausgleich eine relativ stabile Position, und dreht sich Synchron mit den Quarks, egal in welcher Bahn es ist.

1.7. Das Top-Quark und das Bottom-Quark

Das Top-Quark und das Bottom-Quark bilden mit dem Tauon das gleiche Prinzip, wie das Proton und das Elektron. Der wesentliche Unterschied liegt nur darin, dass sie bei wesentlich höherer Energie entstehen. Dazu kämen noch die W^{+-} und Z^0 -Bosonen, die auch schon nachgewiesen sind (13.20.)²²⁰. Diese hochenergetischen Teilchen sind in dem Sinne einfach nur größere „Wicklungen“, die bei einer größeren Energie entstehen. Sie würden sich wieder aus drei Quarks zusammensetzen. Im sehr frühen Universum sind sicher solche Quarks entstanden, weil die Energie höher war.

Weil diese „Wicklungen“ größer sind, ist auch die abstoßende Kraft der Quarks untereinander größer. Man benötigt daher eine höhere Umlaufgeschwindigkeit der Quarks um das gemeinsame Zentrum. Man kann die Geschwindigkeit wegen der vorliegenden Energie der einzelnen Quarks nicht erreichen. Sie zerfallen, weil die erzeugte positive Ladung zu klein ist. Damit konnten sie auch im frühen Universum nicht existieren. Sie sind sofort wieder zufallen, ob sie nun Materie oder Antimaterie waren.

1.8. Atome und Antiteilchen im frühen Universum

Für das frühe Universum bedeutet es, dass das Neutron mit seinen entsprechenden Quarks aus Teilchen höherer Energie entstand. Auch das Neutron zerfällt zum Proton, oder es bindet sich an das Proton und bildet neue Elemente, die etwas größer werden als das Helium. Da das Proton das erste stabile Teilchen ist, und weitere Fusionsprozesse im Universum nicht mehr möglich sind, ist der Wasserstoff seit dem frühen Universum das häufigste Element.

Es bleibt jetzt nun die Frage, wie die Antimaterie entsteht. Diese Entscheidung ist nur an den Phasenverlauf der Wellen gebunden. Die Wellen können in das rechte oder linke Wellental fallen (Bild 3). In die eine Richtung dreht sie sich rechts herum und in die andere Richtung dreht sie sich links herum. So entstehen Materie und Antimaterie in gleicher Menge und lösen sich gleich wieder auf. Dieser Verlauf der Entstehung und Vernichtung würde sich ewig wiederholen, wenn nicht wenn nicht ein Teilchen langsamer zerfällt als sein Antiteilchen. Dieses Teilchen existiert und sorgt für das nötige Ungleichgewicht und dafür, dass im letzten Zuge nur noch Materie übrig geblieben ist.

²²⁰ Erik Wischnewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

W^{+-} und Z^0 -Bosonen sind in Kernforschungszentrum Hamburg nachgewiesen worden.

1.9. Teilchenentstehung, Materie und Antimaterie

Wenn sie sozusagen bei extrem hoher Energiedichte drei Wellen gegenseitig zu Quarks aufrollen, streben sie erst voneinander weg. Durch diese Bewegung wird die Ladung erzeugt, die dann dazu führt, dass die Quarks zusammen gezogen werden. Sie sind mit dem Entstehen nicht sofort auf engstem Raum und drehen sich so umeinander.

Daraus bildet sich gleichwertig Materie und Antimaterie und es kommt zur Paarvernichtung, wobei immer wieder Energie aus Teilchen erzeugt wird, bis es nur noch Materie gibt. Die Energie im Universum braucht sich zwar kurzfristig auf, weil Teilchen entstehen, und damit nimmt die Temperatur ab, da aber die Teilchen wieder zerstört werden, werden sie auch wieder in Strahlung umgesetzt. Das hebt die Temperatur wieder an. Zum Schluss bleibt nur noch die Materie über. Dann ist das Universum stark abgekühlt, weil so viel Strahlung in Materieformen der Teilchen umgesetzt worden sind. Dieser Vorgang nimmt dem Universum so viel Energie.

Es können sich durchaus sehr große Teilchen bilden, die keine Neutronen sind. Es wäre das Bottom-Quark und das Top-Quark. Sie könnten aber insofern nicht halten, weil sie als Teilchen keinen Atomkern aus drei Quarks ergeben würden. Sie hätten zu viel Masse und ihre Geschwindigkeit wäre zu klein, um ein Atom aus drei Quarks zu bilden. Durch die kleine Geschwindigkeit ist die erzeugte Ladung zu gering, die ein solches Atom erzeugen würde, um eingeschlossenes Atom zu werden. Im Bilde betrachtet, könnte man sagen, dass „Gummiband“, welches diese Atome zusammen hält, ist zu schwach und es zerreißt. Das gilt für die Materie wie für die Antimaterie. Insofern spielen sie bei der frühen Entwicklung keine Rolle.

Wesentlich ist nur, dass zum Schluss nachdem die Materie über bleibt, nur noch Neutronen existieren. Das heißt, die gesamte Strahlungsenergie wird in Materie umgesetzt. Es existiert mit dem Neutron im Universum keine Strahlung mehr. Wenn nun die Neutron nach 700 Sekunden in zum Teil in Protonen zerfallen, entsteht neben dem Proton wieder Energie aus Strahlung. Materie zerfällt zu Strahlungsenergie.

Der nächste Schritt liegt darin, dass aus Proton und Neutron, erste Fusionsprozesse stattfinden, die die ersten Elemente des frühen Universums schaffen. Die heute gemessene Hintergrundstrahlung setzt sich zusammen aus dem Zerfall des Neutrons und diesen ersten Fusionsprozessen.

2. Die Elemente

2.1. Die erste Schale im Atomkern

2.1.1. Vom Wasserstoff zum Deuterium

Die weitere Entwicklung der Atome zu größeren Elementen entspricht nicht mehr dem alten Verfahren, in dem sich Wellen aufrollen. Atome werden nun wie in einem Pressverfahren von Kugellagern zusammengedrückt. Die Vorgabe dazu sind das Proton und das Neutron.

Eine mögliche Figur ist das Deuterium (Bild 5). Alle anderen wären instabil. Hier liegen sich die beiden unterschiedlichen Quarks als Gruppen genau gegenüber. Wenn man ein Proton und ein Neutron zusammen presst, so liegen sich dabei drei Up-Quarks und drei Down-Quarks gegenüber. Diese halten sich das Gleichgewicht, und daher hat es eine gewisse Beständigkeit. Den Up-Quarks gegenüber liegt das Elektron. Es ist an die Position der Up-Quarks gebunden, während es sich um den Kern dreht. Die Umlaufgeschwindigkeit der Quarks ist mit der Umlaufgeschwindigkeit der Elektronen identisch.

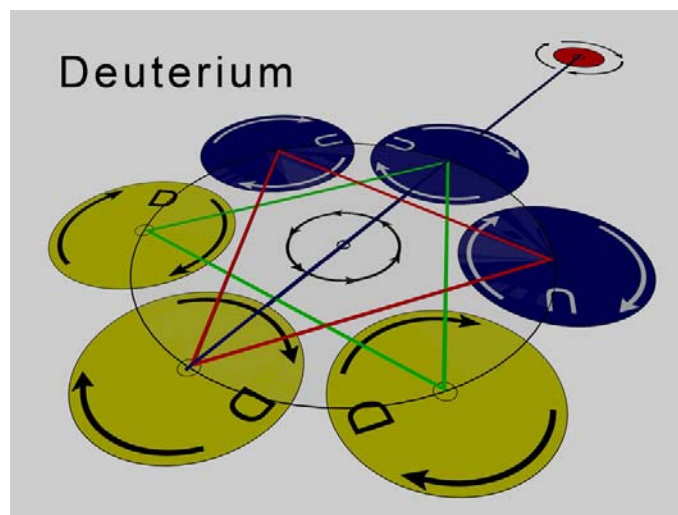


Bild 5: Quarkverteilung im Deuterium

2.1.2. Vom Tritium zum Helium

Der Fusionsprozess vom Wasserstoff zum Deuterium dauert im Vergleich sehr lange. Es würden 14 Milliarden Jahre vergehen. Nur 6 Sekunden später würde das nächste Proton aufgepresst. Dieses neue Gebilde wäre nicht mehr zweidimensional. Das zweite Proton bildet eine gekippte Ebene, die ein gemeinsames Zentrum mit der ersten Ebene vorweist. Daraus ergibt sich das Tritium (Bild 6). Mit dem Tritium bekommt das Atom die dritte Dimension. Vorher waren alle Entwicklungsschritte zweidimensional. Was logisch ist, da es sich um Wellen handelt, die aufgerollt wurden. Man muss jedoch sagen, dass die aufgerollte Welle eine Ladung erzeugt, und diese ist auch von vorne herein dreidimensional.

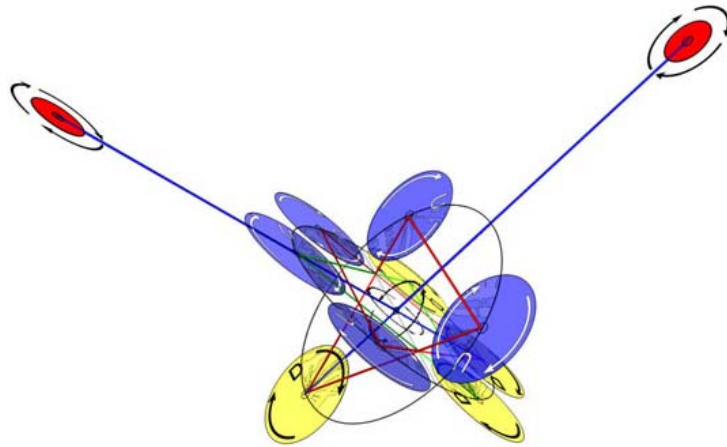


Bild 6: Tritium in Position 1

Man kann an den drei Positionen des Tritiums schon erkennen, dass eine gewisse Harmonie oder Ausgewogenheit existiert. Es fehlt jedoch noch das weitere Neutron, um die gesamte Ausgewogenheit des Heliums erkennen zu können.

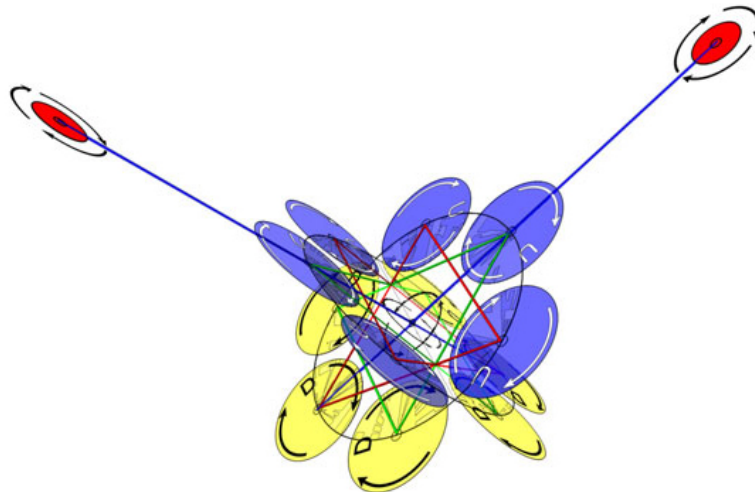


Bild 7: Helium Position 1

2.1.3. Helium und das Elektron

Erst mit dem Helium kommt man zu dem Punkt, dass sich Ladungsträger genau gegenüber liegen. Damit hat man in der Ladung, ich würde eher von Energieverteilung reden, eine gewisse Ausgewogenheit. Auch die Quarks bilden ein harmonisches Bild. Die beiden Elektronen bilden eine Keulenstruktur. Man kann hier davon reden, dass hier der Motor dieser Quarks rund läuft. In diesem Fall spricht man beim Helium von einem Edelgas (Bild 7+8). Um nun bei der weiteren Besprechung der Atome einfacher verfahren zu können, nenne ich dieses Bild von zwei gekreuzten Ebenen die „Kreuzstellung“.

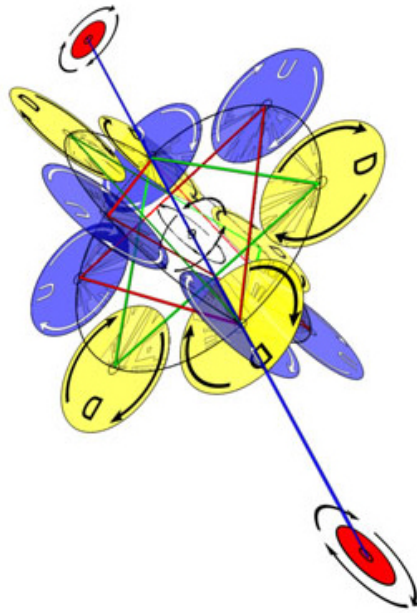


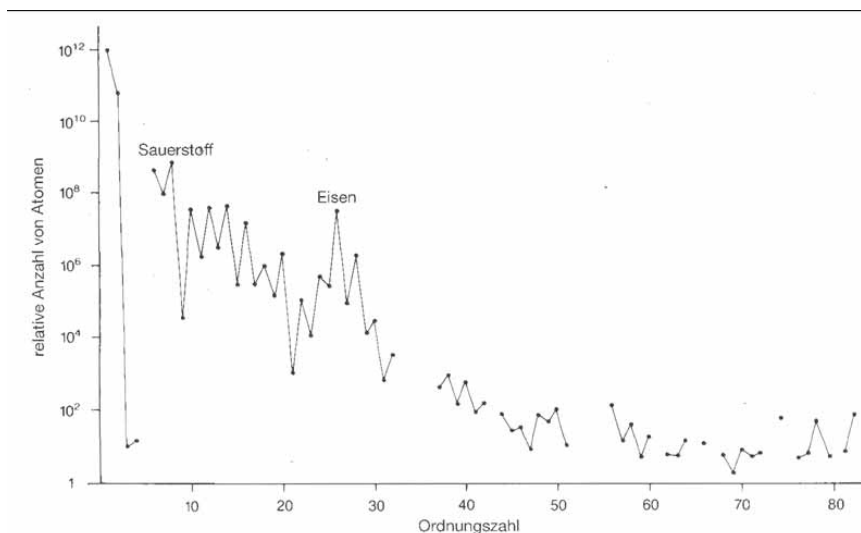
Bild 8: Helium Position 2

2.2. Die weiteren Schalen im Atomkern

2.2.1. Vom Helium über das Lithium hinaus

Wenn man nun weitere Atome bauen möchte, wie es eigentlich nur in Sternen geschieht, muss man einen sehr hohen Druck aufwenden. Im frühen Universum lag eine hohe Temperatur vor und demnach auch ein entsprechend hoher Druck aus Energie reiner Strahlung. Diese reicht zur Bildung der ersten Elemente bis hin zum Helium. Es könnten sich noch gewisse Mengen Lithium gebildet haben. Danach war der Bildungsprozess beendet.

Um nun diese Elemente zu bilden, muss man in gleicher Weise wieder drei Quarks eines Protons auf das gleiche Zentrum und die gleiche Ebene packen. Hat man das getan, bilden die nächsten drei Quarks des Protons einen Radius, in dem das Helium eingeschlossen wird. Darauf presst sich dann im nächsten Schritt das Neutron, und damit hätten wir das Lithium. Damit benötigen Fusionsprozesse in Sternen eine wesentlich höhere Energie und dem entsprechend auch einen höheren Druck. Das erreichen sie nur durch mehr Masse.



6.10 Die relativen Häufigkeiten der chemischen Elemente in der Sonne. Das Diagramm ist so skaliert, daß Wasserstoff die Häufigkeit 10^{12} erhält. Es ist das Ergebnis einer Zusammenstellung von J. E. Ross und L. H. Aller aus über 100 verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriftenaufsätzen. Lithium ist in der Sonne um einen Faktor 100 weniger häufig als im interstellaren Gas und in ganz jungen Sternen. Das Diagramm enthält Daten aus *Science*, Band 191, American Association for the Advancement of Science, New York.

Grafik 2: Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonne (10.36.)²²¹.

Füllt man nun die zweite Schale, beginnt dies wieder mit einer einseitigen Ebene über die Kreuzstellung zur Doppelten Kreuzstellung. Dann hätte man das Beryllium und gelangt dann zum

²²¹ James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford

Die Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Sonne.

S. 167

Bor. Was auffällt, und in unserem Bild passt, sind die Energiemengen, die das einzelne Element benötigt. Hat es eine ausgewogene Kreuzstellung, läuft der Motor runder. Das Element benötigt weniger Energie. Das erkennt man an der Massenzahl. Bei ungeraden Ordnungszahlen ist ein höherer Energieverbrauch erforderlich (401)²²².

In Bezug darauf gibt es noch einen Hinweis, der die angenommene Struktur des Atomkerns unterstützt. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich Elemente mit geraden Ordnungszahlen bilden, ist einfach höher, weil die Kreuzstellung ausgewogener ist als die Belegung mit einer Ebene. Daher gibt es im Universum einfach mehr Elemente mit geraden Ordnungszahlen (Grafik 1). Ausgenommen ist darin nur der Wasserstoff mit der Ordnungszahl 1.

2.2.2. Struktur der zweiten Schale

Der Schritt vom Beryllium zum Bor ist noch einmal etwas Besonderes. Die innere Schale des Heliums hat nur eine Kreuzstellung. Auf der zweiten Schale gibt es zwei Kreuzstellungen. Diese benenne ich mit der doppelten Kreuzstellung. Das bedeutet, die Kreuzstellung des Heliums wird auf der Grundebene um 90° gedreht und dem System dazugefügt.

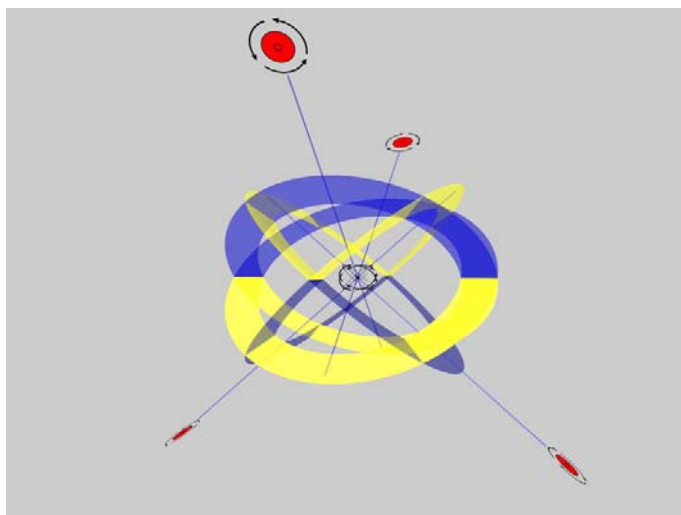


Bild 9: Kohlenstoff in Position 1 (Die Zweifarbigkeit der Ringe stehen für die 3 Up- und 3 Down-Quarks)

Ist nun diese Stellung mit beiden Protonen und Neutronen voll, haben wir es mit dem Element Kohlenstoff zu tun (Bild 9). Diese Drehung um 90° ist nur deswegen möglich, weil der Radius der zweiten Schale von Quarks größer ist und demnach mehr Platz ist.

²²² „Physik in Experimenten und Beispielen“ Hans J. Paus Carl Hanser Verlag München Wien 1995

Das Periodensystem der Elemente mit Angaben von Schmelz und Siedepunkten der Elemente. Die Tabelle befindet sich am Ende des Buches auf der letzten Innenseite. Das wären die Seiten 1041 und 1042.

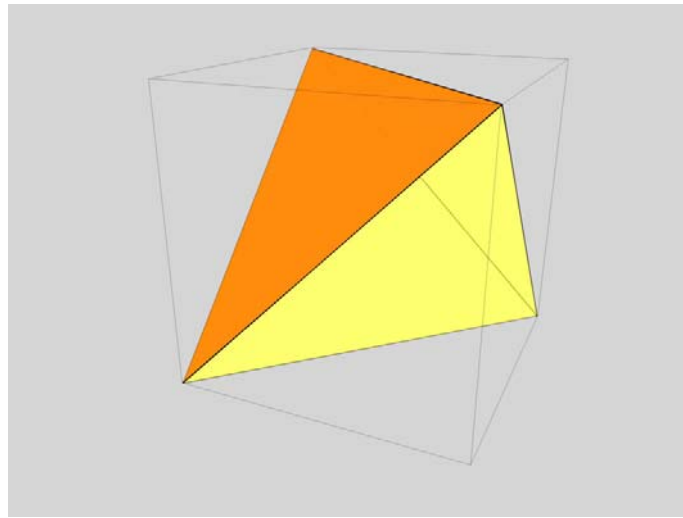


Bild 10: Tetraeder als Bild für den Kohlenstoff

Wenn man nun den Verlauf des Kohlenstoffs mit seinen vier äußeren freien Elektronen genau beobachtet, haben die beiden Elektronen zum Beispiel in Position 3 zwei oben und zwei unten liegende Elektronen in der zweiten Schale. Verbindet man diese Elektronen mit Linien, so bildet sich darin das Tetraeder (Bild 10). Dieser Tetraeder ist der Grundbaustein für den Diamanten, der bei hohem Druck das härteste Element gibt. Dieser Aufbau der Elektronen bezieht sich demnach auch auf die Struktur der zweiten Schale der Quarks, weil die Elektronen auf die Positionen der Quarks festgelegt sind.

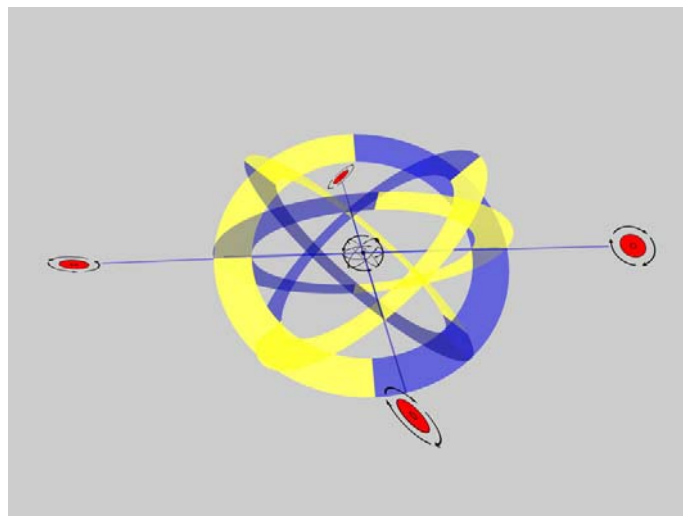


Bild 11: Kohlenstoff in Position 2

Betrachtet man den Ablauf der Elektronenbewegung, so haben wir eine Stellung, in der zwei Elektronen oben in Längsrichtung liegen und zwei Elektronen unten quer liegen (Bild 10). Ein Paar ist wie ein Balken, und beide Balken stehen sich immer 90° gegenüber. Da sich diese Balken drehen und sich von Ebene zu Ebene bewegen, bilden sie auf der Grundebene ein Kreuz (Bild 11). Bei einer weiteren Drehung um 90° hat sich dieser Tetraeder durch die Ebenen geklappt und selbst um 90° gegenüber dem vorigen Tetraeder gedreht (Bild 12). Das wichtige bei dieser Betrachtung liegt darin, dass die Elektronen immer eine Symmetrie bilden und sich nie berühren.

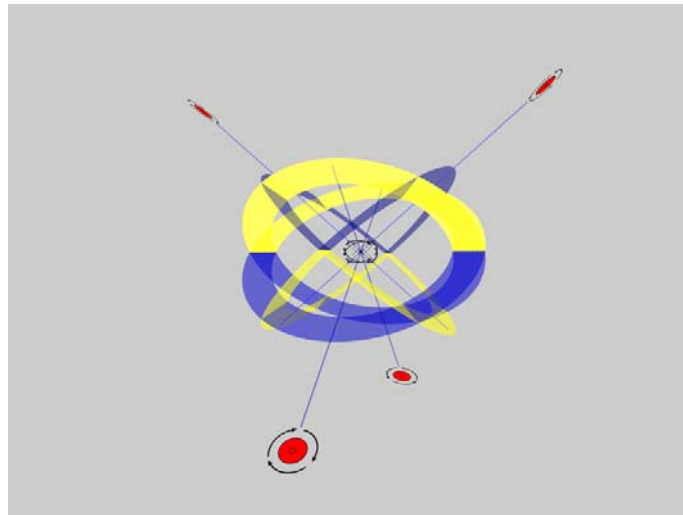


Bild 12: Kohlenstoff in Position 3

2.2.3. Das 4. und 5. Proton auf der 2. und 3. Schale

Wenn wir nun versuchen, die nächste Ebene mit einem Proton und einem Neutron zu belegen, existiert keine eigene Ebene. Dreht man es um 90° , wird eine Ebene doppelt besetzt. (Bild 13) Diese Stellung führt zu einer außergewöhnlichen Instabilität der nächsten Reihe bis zum Edelgas Neon. Das ist damit zu erklären, dass es sich bei den Quarks in ihrer Drehrichtung und Bewegung um Ladungen handelt. Diese würde sich gerne abstoßen. Da sie es bis dahin nicht können, entsteht diese Instabilität.

Alle Elemente über dem Kohlenstoff bis zum Neon sind leichte Gase. Die Schmelztemperatur sinkt vom Kohlenstoff bei 3825°Celsius auf -210°Celsius beim Stickstoff. (Grafik 1)

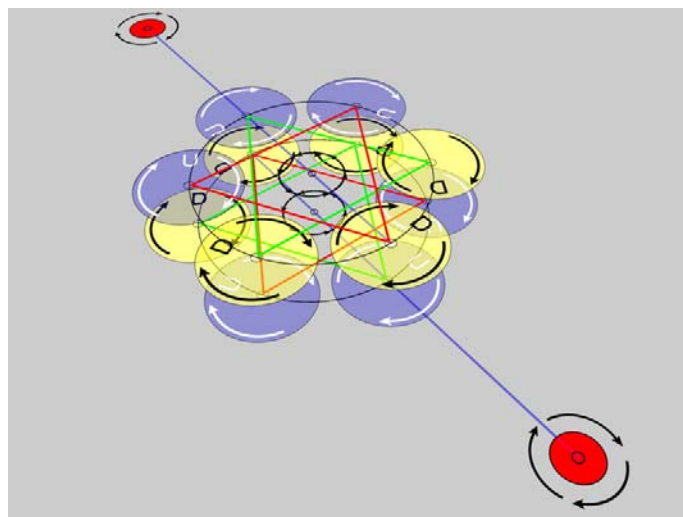


Bild 13: Doppelt belegte Ebene

Diese gleiche Grundstruktur gilt auch für die Elemente der dritten Schale. Wir haben im Silizium wieder ein Element mit hohem Schmelzpunkt (3265°) und danach folgt Phosphor (44.5°) mit geringem Schmelzpunkt. Er ist jedoch bei normalen Temperaturen kein Gas.

Betrachtet man den Stickstoff, so ist bei ihm eine Ebene doppelt belegt und dabei sind die 3 Up- und 3 Down-Quarks einer jeden Ebene um 180° versetzt. Damit hat man auf einer Ebene zwei Elektronen. Beim Neon hätten alle vier Ebenen eine doppelte Besetzung und damit auch 2 Elektronen

auf jeder dieser Ebenen. Diese Stellung des Edelgases würde ich mit zweifach belegter Doppelkreuzstellung bezeichnen.

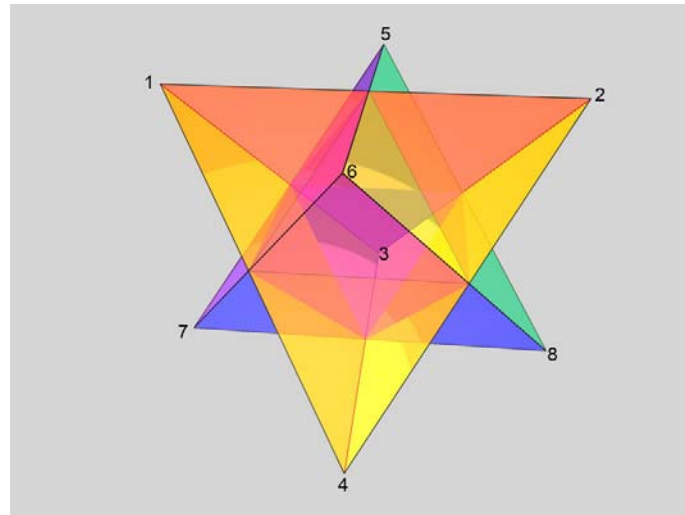


Bild 14: Doppelter Tetraeder als Bild für die äußere Position von 8 Elektronen einer Schale

Betrachtet man nun die Elektronen in ihren Grenzstellungen, so befinden sich vier Elektronen als Kreuz oben und vier Elektronen als Kreuz unten. Das wären zwei ineinander gestellte Tetraeder (Bild 14). Drehen sich die Elektronen aus dieser Stellung um 90° , so bewegen sich alle genau auf der Grundebene. Hier ergibt sich ein Problem, denn zwei Elektronen dürfen nach dem Ausschließungsprinzip nicht an einem Punkt sein. In diesem Fall wären sogar alle vier an einem Punkt. Die Lösung liegt darin, dass Elektronen auch nur aufgerollte zweidimensionale Wellen sind. Da sie unterschiedliche Ebenen vorweisen, stören sie sich nicht.

2.2.4. Die drei Schalen des Atomkerns

Betrachtet man nun die Zahlen der Protonen bei den Edelgasen, so wachsen sie erst zwei Mal um 8 Protonen und dann zwei Mal um 18 Protonen. Was hat das für eine Bedeutung?

Das bedeutet, nach dem Helium werden zwei Schalen jeweils mit 8 Protonen besetzt. Es gibt demnach nur drei Schalen, oder drei unterschiedliche Radien, auf denen Quarks gepresst werden. Man findet auf jeder Schale zwei doppelte Kreuzstellungen, die um 90° versetzt auch einer Doppelbelegung einer Ebene entsprechen. Diese Besetzung gilt bis zur dritten Schale, also dem Argon mit 18 Protonen.

Mit dem 19. Proton bis hin zum 54. Proton bleiben die drei Schalen des Atomkerns erhalten, es ändern sich jedoch die Positionen der doppelten Kreuzstellungen. Vom 19. bis zum 26. Proton, also bis zum Eisen (Fe), wird die zweite Schale zwei Mal besetzt. Mit dem 27. und 28. Proton, dem Kobalt und dem Nickel, wird die erste Schale zum zweiten Mal besetzt, und die weiteren 8 Protonen setzen sich zum Abschluss auf die dritte Schale. Damit wäre erklärt, wo die Positionen der weiteren 18. Protonen liegen, die mit dem Abschluss des Edelgas Krypton ergeben. - Es ist nun die Frage, wie das stattfindet.

Mit der doppelten Besetzung der zweiten Schale des Atomkerns wird die neue Kreuzstellung um 45° zur ersten Stellung auf der Grundebene gedreht. So werden die nächsten 8 Protonen mit ihren Neutronen aufgetragen. Ist diese zweite Schale des Kerns voll, haben wir einen so großen Innendruck auf den Kern, dass aus der einfachen Kreuzstellung des Heliums ebenfalls eine doppelte Kreuzstellung wird. Im Periodensystem werden nach dem Eisen mit Kobalt und Nickel, dieser innere Kern noch mal belegt. Somit ist der Kern mit der zweiten Schale stabil und dann beginnt die Besetzung der dritten Schale mit Protonen bis zum Krypton.

Die dreifache Besetzung dieser drei Schalen wird nun um 30° und 60° gegenüber der ersten Stellung versetzt. Damit gelangt man zum Xenon mit 54 Protonen. Das wären 3 Mal 18 Protonen im Kern. Damit sind die ersten drei Schalen voll.

2.2.5. Die 4. und 5. Schale des Atomkerns

Über die 3. Schale des Atomkerns hinaus zeigt sich eine neue Aufteilung. Es ist nun - neben den Lanthaniden und den Actiniden als zusätzliche Reihe von Elementen - eine Folge von 32 Elementen, die den Abschluss einer Schale bilden. Vom Cäsium bis zum Radon sind es 32 weitere Protonen, die ein Atom aufnimmt. Das ist durch 8 teilbar, und ergibt nach dem gewohnten Muster vier Doppelkreuzstellungen. So wird die vierte Schale im Atomkern gefüllt. Die Doppelte Kreuzstellung wird damit 4-mal auf einer Schale wiederholt. Das entspricht einer Einteilung von $22,5^\circ$, 45° und $67,5^\circ$.

Nach der vierten beginnt die Füllung mit der 5. Schale im Atomkern. Hier wird der Radius, auf den die Protonen gepresst werden, noch einmal größer. Das heißt, je voller diese Schale nun wird, umso instabiler wird das gesamte Atom.

2.2.6. Die Fusionsstufen der Sterne

Betrachtet man die unterschiedlichen Elemente, so haben sie verschiedene Schalen. Jede Schale bedarf spezifisch zu ihrem Radius eines bestimmten Pressdrucks, um weitere Protonen und Neutronen hinzuzufügen.

Die Basis Fusionsprozesse ist jedoch das Deuterium. Man benötigt in dem Sinne erst einmal Neutronen, um das Deuterium herzustellen. Diese müssen im Stern hergestellt werden.

Die Fusionsprozesse werden nur dadurch bestimmt, das Deuterium verarbeitet wird. Das Deuterium ist das Grundelement aller Fusionsprozesse. Deswegen findet man bei den T-Tauristernen so viel Deuterium. Man könnte jetzt davon ausgehen, dass Deuterium im frühen Universum in so großen Mengen produziert wurde. Es könnte aber auch sein, dass der Stern selber während seiner Entwicklung Deuterium aus Wasserstoff gewinnt. Damit müssten Protonen zu Neutronen umgewandelt werden, um dann das Deuterium zu bilden. Die Protonen müssen demnach erst einmal Energie aufnehmen. Der eigentliche Prozess bei Sternen liegt demnach in der Produktion von Neutronen.

Das Deuterium wird dann in einer Art „Pressdruckverfahren“ hergestellt. Quarks werden in ihren Positionen als Proton und Neutron zum Deuterium gepresst. Es wird demnach in großen Mengen Deuterium produziert und alle weiteren Elemente werden dann wieder im gleichen Pressdruckverfahren aus Deuterium gewonnen.

Betrachtet man das Atom, so besteht es aus mehreren Schalengrößen. Je größer nun eine Schale ist, umso größer ist die Energie, um es zu produzieren. Man benötigt einmal Energie um die Pressung als solches durchzuführen und zum anderen benötigt man mehr Energie, um das Deuterium zu dehnen, damit es über das vorhandene Atom gepresst werden kann. Die Stufen der Fusion wären demnach etwas ganz anderes.

3.1. Energie, Ladung und wirkende Kräfte

3.1.1. Die Energie des Elektrons auf seinen Schalen

Die Quarks drehen sich im Atomkern auf einzelnen Schalen um ein gemeinsames Zentrum. Das Elektron ist an die U-Quarks gebunden und tut damit das gleiche tun.

Die Schalen der Quarks werden zu den höheren Ordnungszahlen größer. Die Geschwindigkeit der Quarks um das Zentrum bleibt jedoch gleich. Die Periode eines Umlaufs wird mit jeder größeren Schale kleiner. Das bedeutet für die Quarks, dass mit jeder größeren Schale die Umlaufperiode länger wird. Absolut gesehen ist die Geschwindigkeit der Quarks jedoch gleich.

Das erzeugte Energiefeld der jeweiligen Schale ist abhängig von der Periode. Da diese zu den größeren Schalen kleiner wird, wird auch die Ladung kleiner. Das bedeutet für die Elektronen auf ihren Schalen, dass die Schalenabstände nach außen hin kleiner werden.

Das Elektron bezieht sich immer auf eine bestimmte Schale im Atomkern. Es kann aus dem Grundzustand Energie aufnehmen. Die Energie ist jedoch quantisiert und daher macht das Elektron bei der Energieaufnahme Quantensprünge. Der Quantensprung könnte man als ganzen Sinusverlauf einer Welle verstehen. Das Elektron kann nur eine ganze Welle aufnehmen oder abgeben. Eine Wicklung ist immer ein Photon, was das Elektron auf oder abnimmt. Die Geschwindigkeit des Elektrons nimmt zu den größeren Bahnen hin zu. Die Periode ist jedoch gleich.

Die Quantensprünge sind also immer gleich. Das Elektron ist jedoch immer schneller. Die abgegebenen Wellen werden damit zu den äußeren Schalen hin länger. Dadurch erreicht man die unterschiedlichen Frequenzen der Strahlung.

3.1.2. Die Bedeutung der Kräfte der einzelnen Teilchen

Die Änderung des Quantenzustandes eines Elektrons ist eine Veränderung seines Spins. Es ändert sich ganz einfach die Rotation des Elektrons.

Geht man den Schritt weiter, so beschreibt das Elektron selbst durch seine Rotation und Bewegung eine Welle. Man könnte es so sagen: Wenn sich das Elektron außerhalb seiner Bahn bewegt und dreht, beschreibt es eine Frequenz. Es kann damit auch Welle sein, obwohl es als Energiepaket aufgerollt ist. Wenn man diesen gedanklichen Schritt weiter führt, so gilt dieser auch für den Atomkern. Da dieser Kern ebenfalls rotiert, beschreibt er mit der Fortbewegung eine Frequenz. Damit würde sich erklären, warum Baryonen am Doppelspalt ebenfalls die Eigenschaften von Wellen aufweisen und sich genau so verhalten wie Elektronen und das Photon.

Die zentrale Aussage für die Quarks im Atomkern liegt darin, dass sie sich wie das Elektron um sich selbst drehen und damit einen Spin besitzen, der dafür sorgt, dass sie sich abstoßen. Das tun sie aus dem Grunde nicht, weil sie sich gemeinsam um ein Zentrum drehen. Dadurch erzeugen sie ein Energiefeld, was stark genug ist, um sie zusammen zu halten.

Das Grundprinzip aller Quarks und des Elektrons liegt in ihrer Abstoßung. Es sind in dem Sinne aufgerollte und gespannte Wellen, die sich aufgrund ihrer Situation nicht anders verhalten können. Zu dieser insgesamt Verspannung der Materie gibt es eine Gegenkraft. Das ist die Gravitation.

Die Quarks selbst drehen sich um ein gemeinsames Zentrum und drehen sich umgekehrt zum Spin aller Teilchen. Daher existiert im Atomkern eine umgekehrte Ladung. Diese hält den Kern zusammen und bindet das Elektron an den Atomkern.

Elemente sind Pressungen aus Proton und Neutron. Diese Ebenen sind gekippt oder auf der Grundebene gedreht. Die Ebenen aus Proton und Neutron sind auf den einzelnen Schalen aufgepresst. Der Atomkern wird daher vom Durchmesser mit jeder Schale größer.

Die wesentliche Neuheit in diesen Überlegungen liegt darin, dass der Atomkern mit dem Proton und dem Neutron einen gemeinsamen Ring aus Quarks bildet. Bisher wird in der Wissenschaft so gedacht, dass die beiden Elemente im Atomkern für sich bleiben. Dann schafft man zusätzliche Elemente, die den Kern und einzelne Elemente dessen zusammen halten. In meiner Idee ergibt sich aus der Dynamik der einzelnen Elemente - eben den Quarks - die Ursache, welche Kräfte wirken und warum sie zusammen halten. Ich erschaffe demnach keine zusätzlichen Teilchen, sondern biete die Antwort auf Kräfte in der Ursache der Dynamik der gegebenen Elemente.

3.1.3. Das Grundlegende der unterschiedlichen Ladungen des Atoms

Die Kräfte im Atom sind dynamischer Art und erklären sich nur durch die Drehrichtung von Wellen oder Wellenpaketen (Quarks). Wellen drehen sich in den Paketen in die eine Richtung und Wellenpakete drehen sich im Atomkern in die andere Richtung. Das Elektron verhält sich wie ein Wellenpaket. Es ist demnach von der Ladung mit den Quarks gleichzusetzen. Da man einzelne Quarks nicht vorfindet, begreift man es erst, wenn man weiß, wie Quarks entstehen. Weil zwei Drehrichtungen existieren, gibt es abstoßende und anziehende Ladungen.

Wenn sich Quarks voneinander entfernen, drehen sie schneller. Dadurch, dass sie im Paket gegeneinander drehen, bremsen sie sich. Das bedeutet, die Ladung erhöht sich bei der Trennung.

3.1.4. Entwicklung der Atome in der Geschichte des Universums

Betrachtet noch einmal die Schritte der Entwicklung von Elementarteilchen, so weisen sie eine ganze bestimmte Entwicklungslinie auf. Die Größe eines Quarks ist abhängig von der Energiedichte des Universums. Die Quarks können auf Grund dieser hohen Energie durchaus sehr groß werden. Sie haben jedoch keine Stabilität, weil es eine ganz bestimmte Energieobergrenze gibt, die ein Quark nicht überschreiten darf, um eine ausreichende Geschwindigkeit um das gemeinsame Zentrum zu erreichen. Diese Geschwindigkeit wiederum baut ein ausreichendes Energiefeld auf, um den Kern zusammenzuhalten.

Das Neutron liegt mit seiner Masse oder Energie knapp über diesem Grenzwert. Sein Zerfall führt zur Bild des Protons. Das Proton liegt knapp unter diesem Grenzwert und ist daher stabil, benötigt aber das Elektron. In diesem Ablauf ergibt sich eine Logik, bei der das entstehende Objekt mit seinen Eigenschaften Ursache seines Bestehens ist. Hier dürfte wahrscheinlich auch Kant Recht haben, denn alles erklärt sich immer aus sich selbst und seinen Eigenschaften.

Die einzelnen Quarks unterschiedlicher Größe sind Produkte des Zerfallsprozesses aus zu großen Teilen. Das ist die erste Phase einer Entwicklung im Universum. Das erste nahezu effektive Teilchen ist das Neutron. Das Proton ist aus ihm entstanden. Es ist ebenfalls ein Zerfallsprodukt und das erste stabile Teilchen. Dieses Zweierlei ist die Basis, woraus sich alles bildet. Hier kehren sich die Prozesse um. An diesen Zeitpunkt werden die Systeme von Teilchen wieder größer. Vorher sind sie bis zum Proton ständig zerfallen.

Das Proton ist das erste effektive Teilchen, und ab ihm beginnt der Aufbau. Dabei werden auch Neutronen gerettet, und mit ihnen beginnt der Aufbau des Periodensystems. Dieser Aufbau wird in den Sternen fortgesetzt. So entsteht das gesamte Periodensystem. Die Elemente im Periodensystem haben nach oben hin auch eine Grenzgröße, wo sie wieder zerfallen.

Wesentlich ist es zu verstehen, wie die Entwicklungsperioden im Universum abgelaufen sind. Sie bestehen aus dem Abbau zu effektiven Teilchen oder Quarks entsprechender Größe. Dann folgt der Aufbau durch Fusionsprozesse. Dem schließt sich der atomare Zerfall an.

3.1.5. Ladung und Gravitation - ein Erklärungsversuch

Aufgerollte Wellen stehen unter Spannung, drehen sich und stoßen sich ab. Damit sorgen sie für ein Energiefeld. Demnach ist es die Eigenschaft der Materie, dass sie sich wegen ihrer gleichen Drehrichtung abstößt. Weil sie das „nicht will“, aber in der Nähe nicht anderes kann, zieht sie sich außerhalb dieses Feldes quasi als Ausgleich wieder an.

Treten nun Elementarteilchen in großen Mengen auf, wirken sie genau umgekehrt. Um einen Ausgleich zu schaffen, wirken sie bei diesen großen Mengen genau umgekehrt. Das wäre die Gravitation. Es gibt daher einen Ausgleich zwischen Spannung und Entspannung. Die Spannung des Atoms findet in der Gravitation die ausgleichende Kraft. Das wäre das Prinzip, was im Universum herrscht.

Man könnte es so sagen: da sich alle Teilchen abstoßen, ob nun Quarks oder Elektronen, ist die Gegenkraft dazu die Gravitation. Sie fällt aber erst bei größeren Mengen der Energie auf.

4. Der kurze Zusammenhang

4.1. Kräfte im Atomkern, der Spin, die Ladung und das Elektron

Die Frage liegt darin, was hält das Atom zusammen und was ist der Spin und die Ladung? Aus der Physik wird der Spin benötigt, um die Ladung des Elektrons an den Atomkern zu quantifizieren. Es ist ein Wert, der sich ergeben muss, um die Energie des Elektrons in der Bindungsstärke an das Atom zu erklären. Da ich ein neues Bild für den Aufbau des Atomkerns habe, schauen wir uns dazu noch mal das Atom an.

Wenn man sich den Atomkern noch einmal vorstellt, so kann man es unter dem Aspekt betrachten, dass sich die drei Quarks nicht um ein gemeinsames Zentrum drehen. Damit würde die Kraft fehlen, die sie zusammenhält. Die Kräfte arbeiten damit gegeneinander und stoßen sich ab. Belegt man sie wieder mit einer Zahl, so könnte man mit 1200 bezeichnen, um zu beschreiben, wie viel Kraft in diesem Atom wirkt. Verteilt man sie auf Körper auf, so könnte man diesen Wert durch drei teilen und damit hätte man für jedes Quark der Zahl von 400 belegen. Da nun die Quarks gegeneinander drehen, würden sich die Kräfte abstoßen. Man müsste vor diese Zahl jedoch ein Minus setzen, um zu beschreiben, dass diese Kräfte sich abstoßen. Ohne einen weiteren Bewegungsfaktor entsteht keine Kraft, die sie zusammen hält und sie müssten auseinander fliegen. Damit würden sie auch zerfallen. Das wäre der Aspekt unserer Betrachtung.

Die Entstehung eines Atoms zwingt jedoch die zweite Bewegungsrichtung auf. Das kann man jedoch nur verstehen, wenn man weiß, oder die Vorstellung hat, wie nun das Atom entsteht. Wenn Quarks oder Antiquarks entstehen, müssen sie sich zwangsläufig umeinander drehen. Das ergibt sich aus dem Bewegungsablauf ihrer Entstehung. Daraus ergibt sich die weitere Kraft, die nötig ist, um dieses Atom zusammenzuhalten. Das System wird demnach durch die Dynamik einer Bewegung zusammengehalten. Wenn man dieser Kraft wieder eine Zahl zuordnet, so müsste man sie mit 1200 belegen. Dieser Wert wäre positiv und ist genau so groß wie die abstoßende Kraft. So wird das Atom über den leicht größeren Wert zusammengehalten.

Diese Zahlen machen den Eindruck, als würde das Atom es gerade mal so schaffen, die Kraft aufzubringen, um das Atom zusammenzuhalten. Darin irrt man jedoch. Man muss verstehen, dass die abstoßende Kraft der Quarks die Bewegung als Ladung hemmt. Sie wirken, wie eine Magnetbremse. Würde man die Quarks etwas voneinander entfernen, wäre die Ladung schwächer, da sie mit der Entfernung abnimmt. Damit würde sich die Drehung um die eigene Achse erhöhen, und die positive Kraft wird stärker. Das ist auch das, was die Realität zeigt. So versteht man das System des Atomkerns und seine wirkenden Kräfte.

Der Atomkern besteht jedoch nicht aus drei gleichen Quarks. Es gibt beim Proton zwei u-Quarks und ein d-Quark. Das heißt, die negative Ladung der Energie ist im Atomkern nicht gleichmäßig. Dieses Ungleichgewicht hat mit dem Zusammenhang nichts zu tun. Man kann sagen, dass die u-Quarks einen Wert von 399,75 haben und das d-Quark einen Wert von 400,5 hätte. Die Summe wäre wieder 1200 und würde damit im Wert wieder der anderen Kraft entsprechen. Man hätte den Ausgleich zwischen beiden Kräften hergestellt. Im Atom hätte man jedoch einherrschendes Ungleichgewicht, was allgemein und richtig verstanden, als Spin gedeutet wird. Das ist dieses Kraftungleichgewicht, was das Elektron als Ausgleich notwendig macht.

Damit ist das Elektron auch an die Quarks gebunden. Nur wenn man versteht, dass sich Quarks um ihr gemeinsames Zentrum drehen, versteht man auch die Geschwindigkeit des Elektrons, um den Atomkern. Diese Geschwindigkeit ist an den Atomkern gebunden. Das Elektron braucht demnach, egal auf welcher Bahn es sich befindet, immer die gleiche Zeit für einen Umlauf. Durch seine Quantisierung kann es sich nur zwischen den verschiedenen Bahnen entscheiden.

5.1. Tabellen

I		II							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1H 1,00794 0,0899 g/l -259,34° -252,87° Wasserstoff 1; 2								
2	3Li 6,941 0,534 180,5° 1342° Lithium 6; 7	4Be 9,012182 1,85 1287° 2471° Beryllium 9			Ordnungszahl relative Atommasse Dichte in g/cm³ b. 20°C Schmelztemperatur Siedetemperatur Element stabile Nuklide	27Co 58,93320 8,9 1495°C (2927°C) Cobalt 59	← Wertigkeitsstufen (Dichte v. Gasen in g/l bei 0°C.)		
3	11Na 22,989768 0,97 97,72° 883° Natrium 23	12Mg 24,3050 1,74 650° 1090° Magnesium 24;25;26	Dichten, Schmelz- und Siedetemperaturen für 1013,25 hPa, Temperaturen in Klammern () um mindestens 50°C unsicher. Bei radioaktiven Elementen Massenzahl und rel. Atommasse des wichtigsten Nuklids in Klammern. Ref.: CRC Handbook of Chemistry and Physics, 74th ed. 1993/94; I. Barin, Thermophysical Data, VCH Weinheim 1989; F. Kohlrausch, Praktische Physik, Teubner, Stuttgart 1986.						
4	19K 39,0983 0,86 63,4° 759° Kalium 39;40;41	20Ca 40,078 1,54 842° 1484° Calcium 40;42;44; 46;48	21Sc 44,955910 2,989 1541° 2830° Scandium 45	22Ti 47,88 4,5 1668° (3287°) Titan 46-50	23V 50,9415 5,96 1910° 3407° Vanadium 50;51	24Cr 51,9961 7,20 1907° 2671° Chrom 50;52;54	25Mn 54,93805 7,20 1246° 2061° Mangan 55	26Fe 55,847 7,86 1538° 2861° Eisen 54;56;58	27Co 58,93320 8,9 1495° (2927°) Cobalt 59
5	37Rb 85,4678 1,53 39,31° 688° Rubidium 85; 87	38Sr 87,62 2,6 777° 1382° Strontium 84;86;88	39Y 88,90585 4,47 1526° 3336° Yttrium 89	40Zr 91,224 6,49 1855° 4409° Zirkonium 90-92;94-96	41Nb 92,90638 8,57 2477° (4744°) Niob 93	42Mo 95,94 10,2 2623° (4639°) Molybdän 92;94-98;100	43Tc 97,907215 11,49 2157° — Technetium (98)	44Ru 101,07 12,3 2334° 4150° Ruthenium 96;98-102; 104	45Rh 102,90550 12,4 1964° (3695°) Rhodium 103
6	55Cs 132,90543 1,878 28,44° 671° Cäsium 133	56Ba 137,327 3,51 727° (1897°) Barium 130;132; 134-38	Lantha- niden ↕ La – Lu	72Hf 178,49 13,31 2233° 4603° Hafnium 174;176-180	73Ta 180,9479 16,6 3017° 5458° Tantal 180;181	74W 183,85 19,35 3422° (5555°) Wolfram 180;182-84; 186	75Re 186,207 20,5 3186° 5596° Rhenium 185;187	76Os 190,2 22,48 3033° (5012°) Osmium 184;186-90; 192	77Ir 192,22 22,42 2446° (4428°) Iridium 191;193
			57La 138,9055 6,16 920° 3455° Lanthan 138;139	58Ce 140,115 6,77 799° 3424° Cer 136;138; 140; 142	59Pr 140,90765 6,64 931° 3510° Praseodym 141	60Nd 144,24 7,008 1016° 3066° Neodym 142-46;148; 150	61Pm (144,912743) 7,264 1042° 3000° Promethium (145)	62Sm 150,36 7,520 1072° 1790° Samarium 144;147-50; 152; 154	63Eu 151,965 5,244 822° (1596°) Europium 151;153
7	87Fr (223,019733) — 27° — Francium (223)	88Ra (226,025402) 5,0 700° (1200°) Radium (226)	Acti- niden ↕ Ac – Lr	104Rf (261,108690) — — — Rutherfordium (261)	105Ha (262,113760) — — — Hahnium (262)	106 (263,1182) — — — N.N. (263)	107Nr (262,1231) — — — Nielsbohrium (262)	108Hs (265,1300) — — — Hassium (265)	109Mt (266,1378) — — — Meitnerium (266)
			89Ac (227,027750) 10,06 1051° 3198° Actinium (227)	90Th (232,038054) 11,72 (1750°) (4788°) Thorium (232)	91Pa (231,035890) 15,37 1555° (2963°) Protactinium (231)	92U (238,050784) 19,05 1135° (4131°) Uran (238)	93Np (237,04817) 20,45 644° 4079° Neptunium (237)	94Pu (242,058737) 19,84 640° 3228° Plutonium (242)	95Am (243,061315) 13,67 1176° 2607° Americium (243)

		III		IV		V		VI		VII		VIII					
10	11	Stadtbücherei Bochum										18					
												² He 4,002602 0,1785 g/l — —268,93° Helium 2; 4					
9509 2268																	
												⁵ B 3 10,811 2,34 2075° (3900°) Bor 10; 11	⁶ C 4 12,011 3,51 (D.) 3825° (subl.) — Kohlenstoff 12; 13	⁷ N 5 14,00674 1,2506 g/l —210,00° —195,79° Stickstoff 14; 15	⁸ O -2 15,9994 1,429 g/l —218,79° —182,95° Sauerstoff 16; 17; 18	⁹ F -1 18,998403 1,69 g/l —219,62° —188,12° Fluor 19	¹⁰ Ne 0 20,1797 0,9002 g/l —248,59° —246,08° Neon 20; 21; 22
												¹³ Al 3 26,981539 2,702 660,32° (2519°) Aluminium 27	¹⁴ Si 4 28,0855 2,33 1414° (3265°) Silizium 28; 29; 30	¹⁵ P 5 30,973762 1,82 (w.) 44,15° 277° Phosphor 31	¹⁶ S 6 32,066 2,07 (s) 115,21° 444,60° Schwefel 32; 34; 36	¹⁷ Cl 7 35,4527 3,214 g/l —101,5° —34,04° Chlor 35; 37	¹⁸ Ar 0 39,948 1,784 g/l —189,35° —185,85° Argon 36; 38; 40
²⁸ Ni 3 58,6934 8,90 1455° (2913°) Nickel 58; 60-62; 64	²⁹ Cu 2 63,546 8,92 1084,6° 2562° Kupfer 63; 65	³⁰ Zn 2 65,39 7,14 419,5° 907° Zink 64; 66-68; 70	³¹ Ga 3 69,723 5,90 29,76° 2204° Gallium 69; 71	³² Ge 4 72,61 5,35 938,25° 2833° Germanium 70; 72-74; 76	³³ As 5 74,92159 5,73 614° (subl.) — Arsen 75	³⁴ Se 6 78,96 4,81 221° 685° Selen 74; 76-78; 80; 82	³⁵ Br 7 79,904 3,119 —7,2° 58,8° Brom 79; 81;	³⁶ Kr 0 83,80 3,74 g/l —157,36° —153,22° Krypton 78; 80; 82-84; 86									
⁴⁶ Pd 4 106,42 12,02 1554,9° (2963°) Palladium 102; 104-6; 108; 110	⁴⁷ Ag 2 107,8682 10,5 961,78° 2162° Silber 107; 109	⁴⁸ Cd 2 112,411 8,64 321,07° 767° Cadmium 106; 108; 110-114; 116;	⁴⁹ In 3 114,82 7,30 156,60° 2072° Indium 113; 115	⁵⁰ Sn 4 118,710 7,28 231,9° (2602°) Zinn 112; 114-20; 122; 124	⁵¹ Sb 5 121,757 6,684 630,6° (1587°) Antimon 121; 123	⁵² Te 6 127,60 6,00 449,5° 988° Tellur 120; 122-26; 128; 130	⁵³ I 7 126,90447 4,93 113,7° 184,4° Jod 127	⁵⁴ Xe 0 131,29 5,887 g/l —111,75° —108,04° Xenon 124; 126; 128-32; 134; 136									
⁷⁸ Pt 4 195,08 21,45 1768,4° (3825°) Platin 190; 192; 194-96; 198	⁷⁹ Au 3 196,96654 19,30 1064,2° (2856°) Gold 197	⁸⁰ Hg 2 200,59 13,546 —38,83° 356,73° Quecksilber 196; 198-202; 204	⁸¹ Tl 3 204,3833 11,85 304° 1473° Thallium 203; 205	⁸² Pb 4 207,2 11,344 327,46° 1749° Blei 204; 206-8	⁸³ Bi 5 208,98037 9,80 271,4° 1564° Wismut 209	⁸⁴ Po 6 208,982404 9,4 254° 962° Polonium (209)	⁸⁵ At 7 (209,987126) — 302° — Astatium (210)	⁸⁶ Rn 0 (222,017570) 9,73 g/l —71° —61,7° Radon (222)									
⁶⁴ Gd 3 157,25 7,901 1314° 3264° Gadolinium 152; 154-58; 160	⁶⁵ Tb 4 158,92534 8,230 1359° 3221° Terbium 159	⁶⁶ Dy 3 162,50 8,551 1411° 2561° Dysprosium 156; 158; 160-64	⁶⁷ Ho 3 164,93032 8,795 1472° 2694° Holmium 165	⁶⁸ Er 3 167,26 9,066 1529° 2862° Erbium 162; 164 166-68; 170	⁶⁹ Tm 3 168,93421 9,321 1545° 1946° Thulium 169	⁷⁰ Yb 3 173,04 6,966 824° 1194° Ytterbium 168; 170-74; 176	⁷¹ Lu 3 174,967 9,841 1663° 3393° Lutetium 175; 176										
⁹⁶ Cm 4 (247,070347) 13,51 1345° — Curium (247)	⁹⁷ Bk 4 (247,070300) 13,25 1050° — Berkelium (247)	⁹⁸ Cf 4 (251,079580) 15,1 900° — Californium (251)	⁹⁹ Es 3 (254,088019) — 860° — Einsteinium (254)	¹⁰⁰ Fm 3 (253,085173) — 1527° — Fermium (253)	¹⁰¹ Md 3 (258,098570) — 827° — Mendelevium (258)	¹⁰² No 2 (255,093260) — 827° — Nobelium (255)	¹⁰³ Lr 3 (260,105320) — 1627° — Lawrencium (260)										

Tabelle 2: Periodensystem (40.1.)²²³

²²³ „Physik in Experimenten und Beispielen“ Hans J. Paus Carl Hanser Verlag München Wien 1995

Das Periodensystem der Elemente mit Angaben von Schmelz und Siedepunkten der Elemente. Die Tabelle befindet sich am Ende des Buches auf der letzten Innenseite 1041 und 1042.

Atomare Konstanten (Fortsetzung)			
Größe	Symbol	Zahlenwert	Benennung
Rydberg-Konstante	R_∞	$2,179\,874\,1 \cdot 10^{-18}$ 13,605 698	J eV
1. Bohr-Radius	r_1	$52,917\,725 \cdot 10^{-12}$	m
Elektron			
Ruhmasse	m_e	$9,109\,389\,7 \cdot 10^{-31}$ $5,485\,799\,0 \cdot 10^{-4}$ 510,999 06	kg u keV/c ²
klass. Radius	r_0	$2,817\,940\,9 \cdot 10^{-15}$	m
Compton-Wellenlänge	$\lambda_C = h/m_e c$	$2,426\,310\,6 \cdot 10^{-12}$	m
magnetisches Moment	$\mu_e = 1,0012 \mu_B$	$9,284\,770\,1 \cdot 10^{-24}$ $5,795\,095\,3 \cdot 10^{-5}$	A m ² = J/T eV/T
Proton			
Ruhmasse	m_p	$1,672\,623\,1 \cdot 10^{-27}$ 1,007 276 5 938,272 34	kg u MeV/c ²
magnetisches Moment	$\mu_p = 2,7928 \mu_K$	$1,410\,607\,6 \cdot 10^{-26}$ $8,804\,316\,5 \cdot 10^{-8}$	A m ² = J/T eV/T
Massenverhältnis	m_p/m_e	1836,152 70	
Neutron			
Ruhmasse	m_n	$1,674\,928\,6 \cdot 10^{-27}$ 1,008 664 9 939,565 63	kg u MeV/c ²
magnetisches Moment	$\mu_n = 1,9130 \mu_K$	$0,966\,237\,07 \cdot 10^{-26}$ $6,030\,774\,9 \cdot 10^{-8}$	A m ² = J/T eV/T
Massenverhältnis	m_n/m_e	1838,683 66	
Deuteron			
Ruhmasse	m_d	$3,343\,586\,0 \cdot 10^{-27}$ 2,013 553 2 1875,613 4	kg u MeV/c ²
magnetisches Moment	$\mu_d = 0,857\,44 \mu_K$	$0,433\,073\,75 \cdot 10^{-26}$ $2,703\,032\,6 \cdot 10^{-8}$	A m ² = J/T eV/T
Myon (μ -Meson)			
Ruhmasse	m_μ	$1,883\,532\,7 \cdot 10^{-28}$ 0,113 428 91 105,658 39	kg u MeV/c ²
magnetisches Moment	$\mu_\mu = 8,8906 \mu_K$	$4,490\,451\,4 \cdot 10^{-26}$ $2,802\,718\,2 \cdot 10^{-7}$	A m ² = J/T eV/T

Tabelle 3: Atomare Konstanten (40.2.) ²²⁴

²²⁴ Die Tabelle ist aus dem Buch der vorigen Fußnote

5.2. Bilder- und Grafikverzeichnis

	Seite
Bilder ²²⁵ :	
Bild 1: Das Proton mit dem Elektron	197
Bild 2: Das Neutron	198
Bild 3: Entstehung der Quarks	199
Bild 4: Das Neutron	200
Bild 5: Quarkverteilung im Deuterium	203
Bild 6: Tritium in Position 1	203
Bild 7: Helium Position 1	205
Bild 8: Helium Position 2	205
Bild 9: Kohlenstoff in Position 1	207
Bild 10: Tetraeder als Bild für den Kohlenstoff	208
Bild 11: Kohlenstoff in Position 2	208
Bild 12: Kohlenstoff in Position 3	209
Bild 13: Doppelt belegte Ebene	209
Bild 14: Doppelter Tetraeder	210
Grafiken:	
Grafik 1: Atomkern, Radius und Ladungsverteilung	199
Grafik 2: Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonne	206
Tabellen:	
Tabelle 2: Periodensystem	216 f
Tabelle 3: Atomare Konstanten	218

²²⁵ Das gesamte Bildmaterial ist von Jona Fynn Schlegelmich erstellt worden.

5.3. Textquellen

Erik Wischnewski: „Astronomie für die Praxis“ Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1993

James B. Kaler: „Sterne und ihre Spektren“ Astronomische Signale aus dem Licht. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford 1992

Hans J. Paus: „Physik in Experimenten und Beispielen“ Carl Hanser Verlag München Wien 1995